



**TUGAS AKHIR - SS 141501**

**PENERAPAN DIAGRAM KONTROL MULTIVARIAT  
*REGRESSION ADJUSTED* PADA PROSES  
PENGILINGAN AKHIR PRODUK SEMEN PPC DI  
PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) Tbk.**

**Disusun Oleh :**

**Anindya Cipta Putri**

**NRP 1313 100 041**

Dosen Pembimbing  
Dr. Muhammad Mashuri  
Dra. Lucia Aridinanti, M.T.

**PROGRAM STUDI S1  
JURUSAN STATISTIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2017**



**TUGAS AKHIR - SS 141501**

**PENERAPAN DIAGRAM KONTROL MULTIVARIAT  
*REGRESSION ADJUSTED* PADA PROSES  
PENGGILANGAN AKHIR PRODUK SEMEN PPC DI PT.  
SEMEN INDONESIA (PERSERO) Tbk.**

**ANINDYA CIPTA PUTRI**  
NRP. 1313 100 041

Dosen Pembimbing  
Dr. Muhammad Mashuri  
Dra. Lucia Aridinanti, MT.

PROGRAM STUDI S1  
JURUSAN STATISTIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2017



**FINAL PROJECT - SS 141501**

**APPLICATION OF MULTIVARIATE REGRESSION  
ADJUSTED CONTROL CHART ON THE FINISHING MILL  
PROCESS PPC CEMENT AT PT. SEMEN INDONESIA  
(PERSERO) Tbk.**

**ANINDYA CIPTA PUTRI**  
NRP. 1313 100 041

Supervisor  
Dr. Muhammad Mashuri  
Dra. Lucia Aridinanti, M.T.

UNDERGRADUATE PROGRAMME  
DEPARTMENT OF STATISTICS  
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2017

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENERAPAN DIAGRAM KONTROL MULTIVARIAT  
REGRESSION ADJUSTED PADA PROSES  
PENGGIILANGAN AKHIR PRODUK SEMEN PPC  
DI PT. SEMEN INDONESIA (Persero), Tbk.**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains  
pada**

**Program Studi S-1 Jurusan Statistika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh :**

**ANINDYA CIPTA PUTRI**

**NRP 1313 100 041**

**Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir**

**Dr. Muhammad Mashuri (  )**

**NIP : 19620408 198701 1 001**

**Dra. Lucia Aridinanti, M.T. (  )**

**NIP : 19610131 198701 2 001**

**Mengetahui**

**Ketua Jurusan Statistika FMIPA-ITS**

**  
Dr. Suhartono**

**NIP. 19710929 199512 1 001  
SURABAYA, JANUARI 2017**



**PENERAPAN DIAGRAM KONTROL MULTIVARIAT  
REGRESSION ADJUSTED PADA PROSES  
PENGGILINGAN AKHIR PRODUK SEMEN PPC DI PT.  
SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.**

**Nama** : Anindya Cipta Putri  
**NRP** : 1313 100 041  
**Jurusan** : Sarjana Statistika FMIPA-ITS  
**Pembimbing** : Dr. Muhammad Mashuri  
Dra. Lucia Aridinanti, M.T.

**Abstrak**

*PT. Semen Indonesia merupakan salah satu holding company penghasil semen terbesar di Indonesia yang menguasai 43% pangsa pasar dalam negeri. Dengan tingginya permintaan akan kebutuhan semen, PT. Semen Indonesia selalu berupaya untuk memenuhi kebutuhan konsumen dengan kualitas yang baik dengan menetapkan standar kualitas dalam produksinya agar mampu bersaing dengan industri persemenan lainnya. Salah satu monitoring kualitas semen di PT. Semen Indonesia pada tahap penggilingan akhir semen melibatkan beberapa variabel yang saling berhubungan. Proses pengendalian kualitas di PT. Semen Indonesia selama ini dilakukan dengan grafik monitoring hasil uji standar mutu kuat tekan. Variabel yang mempengaruhi kuat tekan antara lain blaine, insoluble, dan mesh. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengendalian kualitas secara statistik untuk mengetahui kebaikan proses secara menyeluruh. Dalam penelitian ini digunakan regression adjusted control chart sehingga didapatkan residual. Selanjutnya, mengendalikan residual menggunakan diagram kontrol Multivariate Exponential Weighted Moving Variance (MEWMV) untuk mendeteksi pergeseran variabilitas proses dan Multivariate Exponential Weighted Moving Average (MEWMA) untuk mendeteksi pergeseran rata-rata proses. Nilai pembobot yang paling optimal untuk diagram kontrol MEWMV adalah untuk  $\omega$  sebesar 0,6 dan  $\lambda$  sebesar 0,9 sedangkan pada diagram kontrol MEWMA nilai pembobot optimal adalah 0,9. Pada fase satu dan fase dua, variabilitas proses dan rata-rata proses telah terkendali secara statistik.*

**Kata Kunci** : Blaine, Insoluble, Mesh, MEWMA, MEWMV, Proses Penggilingan Akhir, Regression Adjusted

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

**APPLICATION OF MULTIVARIATE REGRESSION  
ADJUSTED CONTROL CHART ON THE FINISHING  
MILL PROCESS PPC CEMENT AT PT. SEMEN  
INDONESIA (PERSERO) Tbk.**

**Name** : Anindya Cipta Putri  
**NRP** : 1313 100 041  
**Department** : Statistics FMIPA-ITS  
**Supervisor** : Dr. Muhammad Mashuri  
Dra. Lucia Aridinanti, MT.

**Abstract**

*PT. Semen Indonesia is one of the largest cement holding companies in Indonesia, which is in command of 43% market share in the country. With the high demand, PT. Semen Indonesia always strives to meet the needs of consumers with good quality by setting standards of quality in its production in order to compete with another cement industry. One of the cement quality monitoring in PT. Semen Indonesia at the finishing mill stage involves interrelated variables. Quality control process in PT. Semen Indonesia has been done with the graphics quality standard monitoring test results of compressive strength. The variable that affect the compressive strength is blaine, insoluble, and mesh. Therefore, it is necessary to control the quality of the statistical basis for knowing the good of the overall process. In this research used regression adjusted control chart to obtaining the residual. Furthermore, the residual control using Multivariate Exponential Weighted Moving Variance (MEWMV) to detect a shift in variability process and Multivariate Exponential Weighted Moving Average (MEWMA) to detect a shift in mean process. The optimal weighted value for MEWMV control chart is  $\omega = 0,6$  and  $\lambda = 0,9$  while the optimal weighted value for MEWMA is 0,9. In phase one and phase two, the variability process and the average process had been controlled statistically.*

**Keywords** : Blaine, Finishing Mill Process, Insoluble, Mesh, MEWMA, MEWMV, Regression Adjusted

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul :

**“PENERAPAN DIAGRAM KONTROL MULTIVARIAT *REGRESSION ADJUSTED* PADA PROSES PENGGILINGAN AKHIR PRODUK SEMEN PPC DI PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) Tbk.”.** Selama proses penyusunan Laporan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik dan lancar tidak lepas dari banyaknya bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan penuh hormat, ketulusan, dan rendah hati, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Muhammad Mashuri dan Ibu Dra. Lucia Aridinanti,MT. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, mengarahkan, membimbing dengan sabar, dan memberikan dukungan yang sangat besar bagi penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
2. Bapak Dr. Suhartono selaku Ketua Jurusan Statistika ITS yang telah menyediakan fasilitas untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Sutikno selaku Kaprodi S1 Jurusan Statistika ITS.
4. Bapak Drs. Haryono, MSIE dan Bapak Dr. R. Mohammad Atok, S.Si. , M.Si. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran-saran untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Dr. Dedy Dwi Prastyo, S.T. , M.Si. selaku dosen wali yang telah memberikan nasehat, motivasi, bimbingan selama ini.
6. Bapak Fajar Sholeh dan Ibu Rini selaku pembimbing di PT. Semen Indonesia yang telah memberikan izin, informasi, motivasi, nasehat, kemudahan pengambilan data selama pelaksanaan Tugas Akhir.
7. Papa tercinta Sucipto, S.T. dan Ibu tersayang Rumiyati atas doa, nasehat, kasih sayang, dan dukungan yang selalu

diberikan kepada penulis sehingga menjadi termotivasi untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

8. Adik- adikku tercinta, Firda Taufani dan Rizky Argya Maulana yang selalu menghibur dan memberikan semangat ketika penulis mengalami hambatan dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
9. Muhammad Fadhil yang selalu memberikan dukungan, perhatian, semangat untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini serta menjadi teman berbagi cerita dalam suka maupun duka.
10. Sahabatku paling setia dan tercinta Dzakia Amalia Karima, Muhammad Farisi, dan Ayyub Dhimastara yang selalu ada saat suka duka. Selamat berjuang di semester 8 ya kalian, ditunggu wisuda 116-nya.
11. Sahabatku SMP dan SMA tercinta Prima, Puta, Novi, Nina, Bela, Tety, Tiara yang memberikan dukungan, serta ada di saat suka duka sehingga penulis menjadi bersemangat dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
12. Teman - teman tercinta di jurusan Salisa, Andra, Ageng, Rukmi, Ade, yang selalu memberi, semangat, menghibur serta bertukar cerita selama di Surabaya.
13. Teman- teman BEM ITS khususnya IECC, Pengajar Tangguh Angkatan 2, teman-teman Barajuang yang telah membantu dan memberikan semangat untuk lancarnya penulisan Tugas Akhir ini.
14. Teman-teman *Legendary* Σ24 yang mengajarkan kebersamaan, kekeluargaan selama 3,5 tahun, semua pihak yang telah memberikan dukungan dan tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari apabila pembuatan laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, besar harapan dari penulis untuk menerima kritik dan saran yang berguna untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga laporan Tugas Akhir ini bermanfaat.

Surabaya, Juli 2016

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>TITLE PAGE</b> .....	iii
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	viii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xx
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan .....	5
1.4 Manfaat .....	5
1.5 Batasan Masalah .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Uji Matriks Korelasi .....	7
2.2 <i>Regression Adjusted Control Chart</i> .....	7
2.3 Pengujian Asumsi Residual .....	9
2.3.1 Pengujian Asumsi Residual Identik .....	9
2.3.2 Pengujian Asumsi Residual Independen.....	10
2.3.3 Pengujian Asumsi Residual Berdistribusi Normal ...	10
2.4 Pengendalian Kualitas Statistik .....	11
2.5 Diagram Kontrol MEWMV .....	11
2.6 Diagram Kontrol MEWMA .....	15
2.7 Proses Produksi Semen .....	17
2.8 Kualitas Semen .....	20
2.9 Diagram Ishikawa .....	23

2.10 Peta Kendali I-MR .....	24
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Sumber Data .....	25
3.2 Variabel Penelitian .....	25
3.3 Langkah Analisis .....	28
3.4 Diagram Alir Penelitian .....	29
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Deskripsi Kualitas Semen PPC pad Pabrik 4 Mill 7 .....	33
4.2 Pemeriksaan Dependensi Kuat Tekan.....	34
4.2.1 Uji Korelasi Fase Satu .....	35
4.2.2 Uji Korelasi Fase Dua .....	35
4.3 Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat.....	36
4.3.1 Uji Distribusi Normal Multivariat Fase Satu .....	36
4.3.2 Uji Distribusi Normal Multivariat Fase Dua .....	37
4.4 <i>Regression Adjusted</i> dengan Pendekatan Regresi Multivariat pada Proses Produksi Semen PPC .....	37
4.4.1 Model Regresi Fase 1 Periode Januari-Juni 2014 ...	37
4.4.2 Model Regresi Fase 2 Periode Juli-Desember 2014 .	40
4.5 Pengendalian Variabilitas Proses dan Rata-Rata Proses Produksi Semen PPC pada Fase Satu .....	45
4.5.1 Pengendalian Variabilitas Proses Fase Satu .....	45
4.5.2 Pengendalian Rata- Rata Proses Fase Satu.....	50
4.6 Pengendalian Variabilitas Proses dan Rata-Rata Proses Produksi Semen PPC pada Fase Dua .....	57
4.6.1 Pengendalian Variabilitas Proses Fase Dua .....	57
4.6.2 Pengendalian Rata- Rata Proses Fase Dua .....	58
4.7 Identifikasi Penyebab Proses Tidak Terkendali .....	59
4.8 Peta Kendali I-MR .....	61
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan .....	65
5.2 Saran .....	65

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>66</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>69</b>

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1</b> Proses Produksi Semen .....	17
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian .....	29
<b>Gambar 4.1</b> <i>Boxplot</i> Residual 1 Fase Satu.....	40
<b>Gambar 4.2</b> <i>Boxplot</i> Residual 2 Fase Satu.....	40
<b>Gambar 4.3</b> <i>Boxplot</i> Residual 3 Fase Satu.....	41
<b>Gambar 4.4</b> <i>Boxplot</i> Residual 1 Fase Dua .....	44
<b>Gambar 4.5</b> <i>Boxplot</i> Residual 2 Fase Dua .....	44
<b>Gambar 4.6</b> <i>Boxplot</i> Residual 3 Fase Dua .....	45
<b>Gambar 4.7</b> Diagram Kontrol MEWMV Fase Satu dengan dengan $\omega=0,1$ dan $\lambda=0,1$ .....	46
<b>Gambar 4.8</b> Diagram Kontrol MEWMV Fase Satu dengan dengan $\omega=0,2$ dan $\lambda=0,4$ .....	47
<b>Gambar 4.9</b> Diagram Kontrol MEWMV Fase Satu dengan dengan $\omega=0,4$ dan $\lambda=0,7$ .....	48
<b>Gambar 4.10</b> Diagram Kontrol MEWMV Fase Satu dengan dengan $\omega=0,6$ dan $\lambda=0,9$ .....	48
<b>Gambar 4.11</b> Diagram Kontrol MEWMV Fase Satu dengan dengan $\omega=0,9$ dan $\lambda=0,9$ .....	49
<b>Gambar 4.12</b> Diagram Kontrol MEWMA dengan $\lambda=0,1$ .....	51
<b>Gambar 4.13</b> Diagram Kontrol MEWMA dengan $\lambda=0,2$ .....	52
<b>Gambar 4.14</b> Diagram Kontrol MEWMA dengan $\lambda=0,3$ .....	52
<b>Gambar 4.15</b> Diagram Kontrol MEWMA dengan $\lambda=0,4$ .....	53
<b>Gambar 4.16</b> Diagram Kontrol MEWMA dengan $\lambda=0,5$ .....	54
<b>Gambar 4.17</b> Diagram Kontrol MEWMA dengan $\lambda=0,6$ .....	54
<b>Gambar 4.18</b> Diagram Kontrol MEWMA dengan $\lambda=0,7$ .....	55
<b>Gambar 4.19</b> Diagram Kontrol MEWMA dengan $\lambda=0,8$ .....	55
<b>Gambar 4.20</b> Diagram Kontrol MEWMA dengan $\lambda=0,9$ .....	55
<b>Gambar 4.21</b> Diagram Kontrol MEWMA Fase Satu Perbaikan dengan $\lambda=0,9$ .....	58
<b>Gambar 4.22</b> Diagram Kontrol MEWMV Fase Dua .....	55

<b>Gambar 4.23</b> Diagram Kendali MEWMA Fase Dua dengan $\lambda=0,9$ .....	55
<b>Gambar 4.24</b> Diagram Ishikawa Penyebab <i>Out of Control</i> ..	60

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 2.1</b> Tabel nilai batas kontrol atas (H) .....	17
<b>Tabel 3.1</b> Variabel Penelitian.....	26
<b>Tabel 3.2</b> Struktur Data Penelitian .....	27
<b>Tabel 4.1</b> Statistika Deskriptif Kualitas Tuban 4 <i>Mill</i> 7.....	36
<b>Tabel 4.2</b> Estimasi Parameter Model Regresi Multivariat Fase Satu .....	38
<b>Tabel 4.3</b> Estimasi Parameter Model Regresi Multivariat Fase Dua .....	41
<b>Tabel 4.4</b> Hasil Perhitungan Nilai $ \max \text{tr}(\mathbf{V}_n) - \text{BKA} $ Untuk MEWMV .....	50
<b>Tabel 4.5</b> Selisih Titik Pengamatan dengan UCL .....	57



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
<b>Lampiran A</b> Data Kualitas Semen PPC Tuban 4 Mill 7 .....	69
<b>Lampiran B</b> Pemeriksaan Dependensi Kuat Tekan .....	75
<b>Lampiran B.1</b> <i>Output</i> Uji Korelasi Fase Satu .....	75
<b>Lampiran B.2</b> <i>Output</i> Uji Korelasi Fase Dua .....	75
<b>Lampiran C</b> <i>Macro Minitab</i> Pemeriksaan Asumsi Distribusi Normal Multivariat.....	75
<b>Lampiran C.1</b> <i>Output</i> Uji Distribusi Normal Multivariat Fase Satu .....	76
<b>Lampiran C.2</b> <i>Output</i> Uji Distribusi Normal Multivariat Fase Dua .....	77
<b>Lampiran D</b> <i>Regression Adjusted</i> dengan Pendekatan Regresi Multivariat .....	78
<b>Lampiran D.1</b> <i>Output</i> Model Regresi dan Residual pada Fase Satu .....	78
<b>Lampiran D.2</b> <i>Output</i> SPSS Uji Box's M Residual pada Fase Satu .....	87
<b>Lampiran D.3</b> <i>Output</i> Uji Normal Multivariat Residual pada Fase Satu .....	87
<b>Lampiran D.4</b> <i>Syntax</i> dan <i>output</i> SAS plot MACF Residual pada Fase Satu.....	88
<b>Lampiran D.5</b> <i>Output</i> Model Regresi dan Residual pada Fase Dua .....	89
<b>Lampiran D.6</b> <i>Output</i> SPSS Uji Box's M Residual pada Fase Dua .....	97
<b>Lampiran D.7</b> <i>Output</i> Uji Normal Multivariat Residual pada Fase Dua .....	98
<b>Lampiran D.8</b> <i>Syntax</i> dan <i>output</i> SAS plot MACF Residual pada Fase Dua.....	98
<b>Lampiran E</b> Pengendalian Variabilitas Proses dan Rata-Rata Proses Fase Satu .....	100
<b>Lampiran E.1</b> Diagram kontrol MEWMV dengan nilai pembobot yang ditetapkan .....	100

<b>Lampiran E.2</b>	Nilai Tabel L untuk $p=3$ .....	110
<b>Lampiran E.3</b>	Diagram MEWMA dengan semua nilai pembobot .....	110
<b>Lampiran F</b>	Pengendalian Variabilitas Proses dan Rata-Rata Proses Fase Dua .....	113
<b>Lampiran F.1</b>	Diagram MEWMV dengan pembobot optimal dari Fase Satu .....	113
<b>Lampiran F.2</b>	Diagram MEWMA dengan pembobot optimal dari Fase Satu .....	114
<b>Lampiran G</b>	Surat Keterangan Penelitian di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk .....	115

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk merupakan salah satu *holding company* penghasil semen terbesar di Indonesia yang menguasai 43 % pangsa pasar dalam negeri. Dengan tingginya permintaan akan kebutuhan semen, PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk selalu berupaya untuk memenuhi kebutuhan konsumen dengan kualitas yang baik dengan menetapkan standar kualitas dalam produksinya agar mampu bersaing dengan industri persemenan lain yang ada di Indonesia (PT. Semen Indonesia, 2015). Produk semen yang dihasilkan PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk dengan penjualan tertinggi adalah semen *Ordinary Portland Cement* (OPC) dan *Portland Pozzoland Cement* (PPC).

Proses produksi semen memiliki lima tahapan diantaranya proses penyiapan bahan baku, proses pengolahan bahan, proses pembakaran, proses penggilingan akhir, proses pengemasan. Dalam penelitian ini digunakan pada satu tahapan proses yaitu penggilingan akhir (*finish mill*). Dalam tahapan ini dilakukan proses penggilingan antara terak, *gypsum*, dan *pozzonland* yang ditambahkan sesuai spesifikasi semen yang telah dipersyaratkan. Alat utama yang menunjang proses penggilingan akhir yakni *tube mill*, *separator*, *bag filter*. Namun pada kondisi di lapangan, masih sering terjadi proses diluar batas kendali yang disebabkan karena adanya masalah peralatan yang rusak sehingga membuat *finish mill* tidak beroperasi. Oleh karena itu, sangat penting dilakukan pengujian kualitas di tahap penggilingan akhir, sebelum semen masuk ke tahap pengantongan. Dalam praktik pemakaian semen di lapangan, parameter utama adalah parameter kuat tekan. Kuat tekan semen dipengaruhi oleh lima faktor utama, yaitu kualitas klinker berupa reaktivitas dan jumlah trikalsium silikat ( $C_3S$ ) klinker, serta *freelime* klinker ( $CaO$  bebas), jumlah  $SO_3$  dalam semen, jumlah dan reaktivitas *pozzoland* yang ditambahkan dalam

*Cement Mill* berupa persentase bagian tak larut di semen, jumlah dan kualitas batu kapur yang ditambahkan dalam *Cement Mill* yang diukur sebagai persentase hilang pijar semen (Smidth, 1996).

Salah satu monitoring kualitas semen di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk pada tahap penggilingan akhir melibatkan beberapa variabel yang saling berhubungan. Dalam penelitian ini, digunakan variabel respon yakni kuat tekan. Kuat tekan merupakan sifat kemampuan menahan atau memikul suatu beban tekan. Kuat tekan menjadi parameter utama dalam pemasaran semen. Faktor yang mempengaruhi kuat tekan adalah kehalusan semen yang dijadikan variabel prediktor yakni *blaine* dan *mesh*. Semakin tinggi nilai *blaine* dan *mesh* maka semakin tinggi pula tingkat kehalusan semen sehingga menghasilkan kuat tekan yang tinggi. Variabel *insoluble* yang ditambahkan selain mempengaruhi *setting time*, juga akan memberikan pengaruh dominan terhadap kuat tekan. Oleh karena itu, tujuan pada penelitian ini digunakan diagram kontrol multivariat. Hotelling (1947) pertama kali memperkenalkan grafik pengendali multivariat berdasarkan statistik  $T^2$  Hotelling. Kemudian beberapa perkembangan grafik pengendali multivariat lainnya adalah *Multivariate CUSUM* (Woodall dan Ncube, 1985) dan *Multivariate EWMA* (Lowry dkk, 1992). Pengukuran proses multivariat diagram kontrol yang menyediakan pemantauan terhadap vektor mean adalah *Multivariate EWMA* (MEWMA). Namun apabila yang menjadi perhatian adalah pergeseran pada matrik varians kovarians maka digunakan Diagram Kontrol *Multivariate EWMV* (MEWMV). Sebuah aspek penting dalam analisis diagram kontrol multivariat adalah diagnosis setelah adanya sinyal proses yang tidak terkendali. Suatu pendekatan yang digunakan untuk melakukan diagnosis dimana pergeseran tersebut terjadi sehingga menyebabkan proses menjadi tidak terkendali diberikan oleh Hawkins (1991) menggunakan analisis regresi linear dengan penyesuaian dimana dilakukan regresi berulang pada setiap karakteristik terhadap kualitas pendahulunya (*regression-adjusted*). Oleh karena itu, dalam penelitian ini ingin menerapkan

pengendalian kualitas pada karakteristik kualitas secara multivariat dengan menggunakan diagnosis setelah adanya sinyal *out of control* menggunakan analisis regresi dengan penyesuaian (*regression-adjusted*) dan pengontrolan yang dilakukan untuk residual menggunakan diagram kontrol *Multivariate EWMA* (MEWMA) dan *Multivariate EWMV* (MEWMV).

Penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan PT. Semen Indonesia (Persero), Tbk telah dilakukan oleh Damayanti (2011) dalam tugas akhirnya yang berjudul “Analisis Pengendalian Kualitas Statistik Multivariat pada Proses Penggilingan Akhir Semen di PT. Semen Gresik (Persero), Tbk” dengan menggunakan peta kendali  $T^2$  Hotelling. Hasil analisis dalam penelitian tersebut yakni terjadi pergeseran proses periode Maret 2011 dan April 2011 pada proses penggilingan akhir (*finish mill-c*) dan saat divisualisasikan dengan peta kendali  $T^2$  Hotelling telah terkendali pada bulan Maret 2011 dan tidak terkendali pada bulan April 2011 dengan nilai kapabilitas produk semen PPC pada bulan Maret 2011 sebesar 2,61015 jauh lebih baik dibandingkan dengan bulan April 2011 sebesar 2,5537.

Penelitian yang berkaitan dengan *Regression Adjustment* telah dilakukan oleh Martinaningtyas (2014) dalam tugas akhirnya yang berjudul “Pengendalian Kualitas Sistem *Heat Recovery Steam Generator (HRSG)* PLTGU di PT. PJB Unit Pembangkitan Gresik” dengan menggunakan peta kendali  $T^2$  Hotelling, peta kendali MEWMA, dan *Regression Adjustment*. Hasil analisis dalam penelitian tersebut adalah proses produksi listrik berdasarkan hasil pengamatan gas buang di HRSG pada tahap 1 periode bulan Juli 2013 dengan menggunakan peta kendali  $T^2$  Hotelling tidak terkendali sedangkan pada produksi tahap 2 periode bulan Agustus 2013 menggunakan batas kendali tahap 1 yang telah terkendali dan saat digunakan peta kendali MEWMA proses pada dua tahap telah terkendali.

## 1.2 Rumusan Masalah

Proses pengendalian kualitas di PT. Semen Indonesia selama ini dilakukan dengan menggunakan *control chart* dan grafik *monitoring* hasil uji standar mutu terutama terhadap kuat tekan selama 3 hari, 7 hari, dan 28 hari. Parameter pengendalian kualitas terdiri dari hampir enam belas parameter dalam kelompok pengujian kimia dan kelompok pengujian fisika. Yang satu sama lain berkorelasi antar karakteristik kualitas produk. Misalnya sifat pengeringan, sifat kemudahan pengerjaan dan terutama adalah kuat tekan. Dalam pengambilan sampel yang terjadi pada tahapan penggilingan akhir semen dengan interval yang didapatkan satu hari sekali. Pada praktik di lapangan, proses pengujian belum dilakukan secara multivariat dan belum mengetahui proses telah terkendali atau tidak, serta belum dilakukan proses penyesuaian (*adjustment*) untuk mengurangi penyimpangan yang terjadi di proses produksi semen. Diagram kontrol biasa hanya digunakan variabel respon saja dengan mengabaikan variabel yang mempengaruhinya atau variabel prediktor. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan menggunakan proses pengawasan (*monitoring*) dan proses penyesuaian (*adjustment*) sehingga dapat mengurangi dan menghilangkan keragaman atau penyimpangan dari karakteristik kualitas supaya dekat dengan nilai target yang telah ditentukan oleh perusahaan pada proses produksi semen. Dengan mengontrol residual dengan *regression adjustment*, sudah bisa mengendalikan dari variabel prediktor dan variabel respon yang diteliti. Sehingga untuk melihat pergeseran proses yang terjadi secara multivariat dengan menggunakan diagram kontrol MEWMV dan MEWMA untuk mengendalikan residual yang telah dihasilkan.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, dapat diperoleh tujuan dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Mendapatkan model regresi dengan *regression adjusted* apabila diperoleh sinyal bahwa proses di luar kendali pada proses penggilingan akhir semen di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.
2. Menganalisis kualitas pada penggilingan akhir berdasarkan tiga variabel semen PPC periode bulan Januari 2014 sampai bulan Desember 2014 telah terkendali secara statistik.

### 1.4 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah mengendalikan kualitas produk semen PPC pada proses penggilingan akhir periode bulan 1 Januari 2014 sampai bulan 31 Desember 2014 sehingga dapat memberikan informasi melalui penerapan ilmu statistik dalam industri persemenan dan dapat dijadikan bahan masukan sehingga dapat meminimalkan adanya cacat dalam proses produksi.

### 1.5 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini data yang digunakan pada tahap penggilingan akhir produk semen di PT. Semen Indonesia (Persero), Tbk pada produksi bulan 1 Januari 2014 sampai 31 Desember 2014, terdapat batasan masalah diantaranya sebagai berikut.

1. Produk semen yang digunakan adalah produk semen *Portland Pozzoland Cement* (PPC).
2. Variabel yang digunakan sebanyak empat variabel diantaranya *Insolluble*, *Blaine*, *Mesh*, dan Kuat Tekan.
3. Data yang digunakan hanya dibatasi di Pabrik Tuban 4 yakni pada penggilingan akhir di *Finish Mill 7*.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Uji Matriks Korelasi

Uji Bartlett bertujuan untuk mengetahui apakah terdapat homogenitas varians antar variabel dalam kasus multivariat. Jika variabel  $X_1, X_2, \dots, X_p$  bersifat saling bebas, maka matriks korelasi antar variabel sama dengan matriks identitas. Untuk menguji kebebasan antarvariabel, dapat dilakukan uji *Bartlett sphericity* (Morrison, 1990). Uji *Bartlett sphericity* dapat dinyatakan dalam hipotesis sebagai berikut:

$$\begin{aligned} H_0 : r &= \mathbf{I} \\ H_1 : r &\neq \mathbf{I} \end{aligned} \quad (2.1)$$

Statistik Uji :

$$\chi^2 = - \left[ n - 1 - \frac{2p+5}{6} \right] \ln |\mathbf{R}| \quad (2.2)$$

dimana  $n$  adalah jumlah observasi, sedangkan  $p$  adalah jumlah variabel, dan  $\mathbf{R}$  adalah matrik korelasi dari masing-masing variabel, serta  $\chi^2_{(\alpha; \frac{1}{2}p(p-1))}$  adalah nilai distribusi *chi-square*. Jika ditetapkan tingkat signifikansi  $\alpha$  sebesar 0,05, maka  $H_0$  ditolak jika nilai  $\chi^2_{hitung} > \chi^2_{(\alpha; \frac{1}{2}p(p-1))}$  dengan derajat bebas sebesar  $\frac{1}{2}p(p-1)$  atau dapat disimpulkan bahwa variabel tidak berkorelasi (Morrison, 1990).

### 2.2 *Regression Adjusted Control Chart*

Diagram kontrol dengan penyesuaian regresi sangat berguna untuk pengukuran individu dengan data multivariat. Hawkins (1991) mengembangkan metode ini untuk merencanakan pengendalian secara univariat dari residual pada masing-masing variabel yang diperoleh. *Regression adjusted control chart* dapat dilakukan apabila terdapat perbedaan variabel secara hirarki seperti variabel independen dan variabel dependen. Residual diperoleh dari hasil pengurangan antara nilai percobaan model regresi

berganda dari masing-masing pengamatan sesuai pada  $y$  atau dengan persamaan:

$$e_i = y_i - \hat{y}_i \quad (2.3)$$

Model regresi dari variabel  $y$  dan  $x$  dapat mewakili proses yang ingin dikontrol. Jika variabel respon yang digunakan lebih dari satu maka digunakan regresi multivariat dalam melakukan pemodelan untuk memperoleh nilai residual (Hawkins,1991).

Analisis regresi multivariat digunakan untuk menggambarkan hubungan antara lebih dari satu variabel respon dengan variabel prediktor dan diantara variabel respon terdapat hubungan. Model linear multivariat respon ke- $q$  adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Y_1 &= \beta_{01} + \beta_{11}X_1 + \dots + \beta_{p1}X_p \\ Y_2 &= \beta_{02} + \beta_{12}X_1 + \dots + \beta_{p2}X_p \\ &\vdots \\ Y_q &= \beta_{0q} + \beta_{1q}X_1 + \dots + \beta_{pq}X_p \end{aligned} \quad (2.4)$$

Model regresi multivariat yang terdiri dari  $q$  persamaan model linear secara simultan dapat ditunjukkan dalam bentuk matriks sebagai berikut:

$$Y_{(nxq)} = X_{nx(p+1)}\beta_{(p+1)xq} + \varepsilon_{nxq} \quad (2.5)$$

dengan :

$$E(\varepsilon_i) = 0$$

$$Cov(\varepsilon_i, \varepsilon_i) = \sigma_{ii}I$$

Selanjutnya, dilakukan penaksiran parameter agar didapatkan nilai konstanta yang akan dipakai dalam persamaan regresi multivariat. Sehingga dapat dilakukan penaksiran nilai variabel respon yang baru dengan menggunakan variabel prediktor. Taksiran parameter dengan menggunakan taksiran OLS didapatkan taksiran parameter regresi multivariat yaitu:

$$\hat{\beta} = [\hat{\beta}_{(1)} : \hat{\beta}_{(2)} : \dots : \hat{\beta}_{(q)}] \quad (2.6)$$

dan matriks residual disimbolkan dengan  $Y - X\hat{\beta}$  (Johnson & Wichern,1998;Rencher,2002).

## 2.3 Pengujian Asumsi Residual

Model persamaan hasil Regresi Multivariat akan dikatakan sebagai model yang sesuai atau layak dan dapat digunakan proses pengendalian kualitas apabila model persamaan tersebut telah memenuhi asumsi dari analisis regresi yaitu IIDN. Asumsi IIDN dalam analisis regresi yaitu asumsi residual identik (homogen), asumsi residual independen (saling bebas antara residual yang satu dengan yang lain), dan asumsi residual berdistribusi normal multivariat. Jika terdapat asumsi yang tidak terpenuhi maka dapat dikatakan bahwa model persamaan hasil regresi belum sesuai untuk digunakan pada analisis selanjutnya sehingga perlu dilakukan penanggulangan sampai asumsi IIDN terpenuhi.

### 2.3.1 Pengujian Asumsi Residual Identik

Pengujian asumsi Identik digunakan untuk mengetahui kehomogenan matrik varian kovarian yang dapat dilakukan dengan menggunakan Uji Box's M dalam kasus multivariat. Pengujian hipotesa kehomogenan matrik varian kovarian dari residual model persamaan regresi yang didapatkan adalah sebagai berikut:

$$H_0 : \sum_1 = \sum_2 = \sum_3$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \sum_i \neq \sum_m \text{ untuk } i \neq m$$

Statistik Uji:

$$\chi^2_{hitung} = -2(1 - c_1) \left[ \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m v_i \ln |S_i| - \frac{1}{2} \ln |S_{pool}| \sum_{i=1}^m v_i \right] \quad (2.7)$$

dimana:

$$S_{pool} = \frac{\sum_{i=1}^k v_i S_i}{\sum_{i=1}^k v_i} \quad \text{dan} \quad c_1 = \left[ \sum_{i=1}^k \frac{1}{v_i} - \frac{1}{\sum_{i=1}^k v_i} \right] \left[ \frac{2p^2 + 3p - 1}{6(p+1)(k-1)} \right]$$

$$v_i = n_i - 1$$

dengan:

k = Jumlah subgrup sebanyak m

$p$  = Banyaknya karakteristik kualitas

Jika ditetapkan tingkat signifikansi  $\alpha$  sebesar 0,05 maka gagal tolak  $H_0$  jika nilai  $\chi^2_{hitung} \leq \chi^2_{\frac{1}{2}(k-1)p(\rho+1)}$  atau  $p\text{-value} > 0,05$

artinya matrik varian kovarian bersifat homogen (Johnson, 1992). Apabila data memiliki jumlah  $n$  yang sama dalam sampel perlakuan/subgrup nya maka asumsi identik yang tidak terpenuhi dapat diabaikan karena varian antar subgrup dapat dikatakan setara (Box, 1953,1954 dalam Heys, 1973).

### 2.3.2 Pengujian Asumsi Residual Independen

Untuk mengetahui asumsi independen, bisa dilakukan dengan mengecek adanya autokorelasi. Autokorelasi adalah korelasi antara anggota serangkaian observasi yang diurutkan menurut waktu (seperti data deretan waktu) atau ruang (seperti data *cross-section*). Untuk mengetahui autokorelasi dapat menggunakan grafik *Multivariate Auto-corellation Function* (MACF). Apabila terjadi *cut off lag* maka residual tidak independen (Montgomery,2009)

### 2.3.3 Pengujian Asumsi Residual Berdistribusi Normal

Untuk mengetahui asumsi residual berdistribusi normal multivariat maka yang dilakukan adalah sama seperti pengujian asumsi variabel respon dengan menggunakan *q-q plot*. Dengan hipotesis yang digunakan adalah:

$H_0$ : data berdistribusi normal multivariat

$H_1$ : data tidak berdistribusi normal multivariat

Dan *q-q plot* akan membentuk sebuah garis lurus jika sebaran datanya mengikuti distribusi normal multivariat.  $H_0$  ditolak jika terdapat kurang dari 50% jarak  $d_{jk}^2 \geq \chi^2$  (Johnson & Wichern, 2007).

## 2.4 Pengendalian Kualitas Statistik

Pengendalian kualitas statistika merupakan suatu metode untuk mengevaluasi kualitas suatu produk hasil proses produksi dengan menggunakan metode-metode statistik, salah satu metode statistik yang akan digunakan adalah peta kendali (Montgomery, 2009). Dalam pengendalian kualitas statistika diklasifikasikan menjadi dua jenis pemeriksaan kualitas, yaitu karakteristik kualitas variabel dan karakteristik atribut. Karakteristik kualitas variabel merupakan pemeriksaan kualitas yang diukur secara kuantitatif, sedangkan karakteristik kualitas atribut adalah pemeriksaan kualitas produk yang diukur secara kualitatif, yaitu ada kemungkinan baik dan buruk, seperti produk cacat atau tidak cacat.

## 2.5 Diagram Kontrol MEWMV

Menurut Huwang (2007) diagram kendali *Multivariate Exponential Weighted Moving Variance* (MEWMV) digunakan untuk memonitor variabilitas proses tanpa adanya asumsi terjadi perubahan *mean* proses selama pengendalian berlangsung. Diagram ini dibangun untuk mendeteksi secara sensitif terjadinya perubahan variabilitas proses tanpa dipengaruhi oleh perubahan rata-rata proses. Jika ada beberapa karakteristik kualitas yang saling berhubungan dapat dikatakan bersifat multivariat. Diagram kendali MEWMV dibentuk dari persamaan berikut.

$$\mathbf{V}_n = \omega(\mathbf{x}_n - \mathbf{y}_n)(\mathbf{x}_n - \mathbf{y}_n)' + (1 - \omega)\mathbf{V}_{n-1} \quad (2.8)$$

dimana  $\omega$  merupakan nilai pembobot bernilai  $0 < \omega < 1$  dan  $\mathbf{V}_0 = (\mathbf{x}_1 - \mathbf{y}_1)(\mathbf{x}_1 - \mathbf{y}_1)^T$ . Estimasi dari  $\mathbf{y}_n$  untuk perubahan rata-rata proses pada waktu ke  $n$  dapat dilihat pada persamaan berikut (Lowry et al, 1992).

$$\mathbf{y}_n = \lambda \mathbf{x}_n + (1 - \lambda)\mathbf{y}_{n-1} \quad (2.9)$$

dengan  $\mathbf{y}_0 = 0$  dan  $0 < \lambda < 1$ .

Untuk mendeteksi terjadinya perubahan dalam matriks kovarian harus didefinisikan :

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_1 \\ \mathbf{x}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{x}_n \end{bmatrix} \text{ dengan } \mathbf{x}_n = \begin{bmatrix} x_{1n} \\ x_{2n} \\ \vdots \\ x_{np} \end{bmatrix} \text{ dan } \mathbf{Y} = \begin{bmatrix} \mathbf{y}_1 \\ \mathbf{y}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{y}_n \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

dimana  $p$  adalah banyaknya karakteristik kualitas dan  $n$  banyaknya pengamatan yang dilakukan. Untuk mengetahui perubahan dalam matriks kovarians maka harus didefinisikan suatu matriks  $\mathbf{C}$ . Matriks  $\mathbf{C}$  merupakan matriks diagonal berukuran  $n \times n$  dengan  $\omega$  sebagai elemennya dimana  $\omega$  adalah *smoothing constant*. Matriks ini menunjukkan suatu nilai pembobot dari  $\mathbf{V}_n$  yang dapat dituliskan :

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} (1-\omega)^{n-1} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \omega(1-\omega)^{n-2} & \vdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

Berdasarkan Persamaan (2.11) didapatkan persamaan baru sebagai berikut.

$$\mathbf{V}_n = \sum_{i=1}^n \omega(1-\omega)^{n-i} (\mathbf{x}_i - \mathbf{y}_i)(\mathbf{x}_i - \mathbf{y}_i)' + (1-\omega)^n \mathbf{V}_0 \quad (2.12)$$

Ketika masing-masing nilai  $n$  dimasukkan ke dalam Persamaan (2.12) maka akan didapatkan nilai  $\mathbf{y}_n$  sebagai berikut.

$$\mathbf{y}_n = \sum_{i=1}^n \lambda(1-\lambda)^{n-i} \mathbf{x}_i \quad (2.13)$$

Dengan memasukkan persamaan (2.13) ke dalam  $\mathbf{x}_i - \mathbf{y}_i$  maka dapat dituliskan :

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_i - \mathbf{y}_i &= \mathbf{x}_i - \sum_{j=1}^i \lambda(1-\lambda)^{i-j} \mathbf{x}_j \\ &= (1-\lambda)\mathbf{x}_i - \lambda(1-\lambda)\mathbf{x}_{i-1} - \dots - \lambda(1-\lambda)^{i-1}\mathbf{x}_1 \\ &\quad ; i = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (2.14)$$

Jika Persamaan (2.14) dituliskan dalam bentuk matriks adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
(\mathbf{X} - \mathbf{Y}) &= \begin{bmatrix} (\mathbf{x}_1 - \mathbf{y}_1)^T \\ (\mathbf{x}_2 - \mathbf{y}_2)^T \\ \vdots \\ (\mathbf{x}_n - \mathbf{y}_n)^T \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} (1-\lambda)\mathbf{x}_1 \\ (1-\lambda)\mathbf{x}_2 - \lambda(1-\lambda)\mathbf{x}_1 \\ \vdots \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} 1-\lambda & 0 & 0 & 0 \\ -\lambda(1-\lambda) & 1-\lambda & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \mathbf{x}_1^T \\ \mathbf{x}_2^T \\ \vdots \end{bmatrix} \\
&= (\mathbf{I}_n - \mathbf{M})\mathbf{X} \tag{2.15}
\end{aligned}$$

$\mathbf{I}_n$  merupakan matrik identitas berukuran  $n \times n$  yang dapat dituliskan,

$$\mathbf{I}_n = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Dengan  $\mathbf{M}$  adalah matrik segitiga bawah berukuran  $n \times n$  dengan  $\lambda$  sebagai elemennya, dimana  $\lambda$  adalah pembobot yang telah ditetapkan.

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} \lambda & 0 & \cdots & 0 \\ \lambda(1-\lambda) & \lambda & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix}$$

Persamaan (2.15) dapat juga dituliskan sebagai berikut.

$$\mathbf{V}_n = (\mathbf{X} - \mathbf{Y})' \mathbf{C} (\mathbf{X} - \mathbf{Y}) \tag{2.16}$$

$$\begin{aligned}
\mathbf{V}_n &= \mathbf{X}' (\mathbf{I}_n - \mathbf{M})' \mathbf{C} (\mathbf{I}_n - \mathbf{M}) \mathbf{X} \\
&= \mathbf{X}' \mathbf{Q} \mathbf{X} \tag{2.17}
\end{aligned}$$

dimana  $\mathbf{Q}$  adalah matriks bujur sangkar dengan ukuran  $n \times n$

$$\begin{aligned}
\mathbf{Q} &= (\mathbf{I}_n - \mathbf{M})' \mathbf{C} (\mathbf{I}_n - \mathbf{M}) \\
&= \begin{bmatrix} q_{11} & \cdots & q_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{n1} & \cdots & q_{nn} \end{bmatrix}; 1 \leq i; j \leq n \tag{2.18}
\end{aligned}$$

Dari Persamaan (2.17) dapat dicari nilai  $\text{tr}(\mathbf{V}_n)$  dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
\text{tr}(\mathbf{V}_n) &= \text{tr}(\mathbf{X}' \mathbf{Q} \mathbf{X}) \\
&= \text{tr}(\mathbf{Q} \mathbf{X} \mathbf{X}') \tag{2.19}
\end{aligned}$$



dengan,

$$\begin{aligned}
 \mathbf{QXX}' &= \begin{bmatrix} q_{11} & \cdots & q_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{n1} & \cdots & q_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \cdots & x_{np} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{p1} & \cdots & x_{pn} \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} q_{11} & \cdots & q_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{n1} & \cdots & q_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \sum_{k=1}^p x_{1k} x_{1k} & \sum_{k=1}^p x_{1k} x_{2k} & \cdots & \sum_{k=1}^p x_{1k} x_{nk} \\ \sum_{k=1}^p x_{1k} x_{2k} & \sum_{k=1}^p x_{2k} x_{2k} & \cdots & \sum_{k=1}^p x_{2k} x_{nk} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{k=1}^p x_{1k} x_{nk} & \sum_{k=1}^p x_{2k} x_{nk} & \cdots & \sum_{k=1}^p x_{nk} x_{nk} \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Sehingga dapat diketahui,

$$\begin{aligned}
 \text{tr}(\mathbf{V}_n) &= \sum_{j=1}^n q_{1j} \left( \sum_{k=1}^p x_{1k} x_{jk} \right) + \sum_{j=1}^n q_{2j} \left( \sum_{k=1}^p x_{2k} x_{jk} \right) + \cdots + \sum_{j=1}^n q_{nj} \left( \sum_{k=1}^p x_{nk} x_{jk} \right) \\
 &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n q_{ij} \left( \sum_{k=1}^p x_{ik} x_{jk} \right) \quad (2.20)
 \end{aligned}$$

Pada saat  $p = 1$  maka persamaan  $\text{tr}(\mathbf{V}_n)$  akan menjadi persamaan EWMV. Saat proses dalam keadaan terkendali dapat ditunjukkan dari nilai  $E(\text{tr}(\mathbf{V}_n))$ .

$$\begin{aligned}
 E[\text{tr}(\mathbf{V}_n)] &= \sum_{i=1}^n q_{ii} E \left( \sum_{k=1}^p x_{ik}^2 \right) + \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n q_{ij} E \left( \sum_{k=1}^p x_{ik} x_{jk} \right) \\
 &= p \sum_{i=1}^n q_{ii} \\
 &= p \text{tr}(\mathbf{Q}) \quad (2.20)
 \end{aligned}$$

Nilai  $E[\text{tr}(\mathbf{V}_n)]$  akan konvergen ke  $E(\mathbf{V}_n) = \frac{2(1-\lambda)^2 \Sigma}{2-\lambda}$  untuk  $n \rightarrow \infty$ . Untuk mendapatkan batas kendali dari  $\text{tr}(\mathbf{V}_n)$  harus didapatkan nilai  $\text{Var}[\text{tr}(\mathbf{V}_n)]$  terlebih dahulu.

$$\begin{aligned}
\text{Var}[\text{tr}(\mathbf{V}_n)] &= \text{Var}\left[\sum_{i=1}^n q_{ii} \sum_{k=1}^p x_{ik}^2 + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j<i}^n q_{ij} \sum_{k=1}^p x_{ik} x_{jk}\right] \\
&= \sum_{i=1}^n q_{ii}^2 \text{Var}\left(\sum_{k=1}^p x_{ik}^2\right) + 4 \sum_{i=1}^n \sum_{j<i}^n q_{ij}^2 \text{Var}\left(\sum_{k=1}^p x_{ik} x_{jk}\right) \\
&= 2p \sum_{i=1}^n q_{ii}^2 + 4p \sum_{i=1}^n \sum_{j<i}^n q_{ij}^2 \\
&= 2p \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n q_{ij}^2 \tag{2.21}
\end{aligned}$$

Persamaan (2.21) akan menjadi batas yang memungkinkan untuk setiap  $n$  dan batas diagram berdasarkan  $\text{tr}(\mathbf{V}_n)$  yaitu,

$$E[\text{tr}(\mathbf{V}_n)] \pm L \sqrt{\text{Var}[\text{tr}(\mathbf{V}_n)]} = p\text{tr}(\mathbf{Q}) \pm L \sqrt{2p \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n q_{ij}^2} \tag{2.22}$$

dimana  $L$  merupakan konstanta yang bergantung pada  $p$  (banyaknya karakteristik kualitas) dan nilai  $\omega$  dan  $\lambda$  yang telah ditentukan sebelumnya. Nilai batas kontrol MEWMV dilakukan melalui simulasi Monte Carlo dengan *Average Run Length* ( $ARL_0$ ) 370 (Huwang et al, 2007).

## 2.6 Diagram Kontrol MEWMA

Diagram kontrol *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA) digunakan untuk mendeteksi terjadinya pergeseran *mean* proses yang kecil secara multivariat (Montgomery, 2005). Diagram kontrol MEWMA merupakan perluasan dari diagram kontrol EWMA. Pada kasus multivariat, dengan karakteristik kualitas lebih dari satu ( $p > 1$ ), maka diagram MEWMA dapat didefinisikan sebagai berikut

$$Z_i = \lambda \bar{x}_i + (1 - \lambda) Z_{i-1} \tag{2.23}$$

$\lambda$  merupakan nilai pembobot yang memiliki nilai  $0 < \lambda < 1$  dengan  $i = 1, 2, \dots, n$  dan  $Z_0 = 0$ .

Pada diagram kontrol MEWMA dapat digunakan nilai pembobot yang sama ataupun tidak sama pada tiap karakteristik

kualitas. Titik pengamatan yang diplotkan dalam diagram kontrol dihitung menggunakan rumus sebagai berikut.

$$T_i^2 = Z_i^T \Sigma_{Z_i}^{-1} Z_i \quad (2.24)$$

Setelah didapatkan diagram kontrol dengan perhitungan data di atas, maka data dapat dikatakan *out of control* jika terdapat  $T_i^2 > h_4$ . Nilai  $h_4 > 0$ , nilai ini akan dipilih untuk mendapatkan ketetapan ARL yang dikontrol dengan matriks kovarian sebagai berikut..

$$\Sigma_{Z_i} = \frac{\lambda}{2-\lambda} [1 - (1-\lambda)^{2i}] \Sigma \quad (2.25)$$

$\Sigma$  merupakan matrix kovarian dari data. Batas kontrol atas (BKA) dan Batas kontrol bawah (BKB) untuk diagram kontrol MEWMA adalah.

$$\text{BKA} = H$$

$$\text{BKB} = 0$$

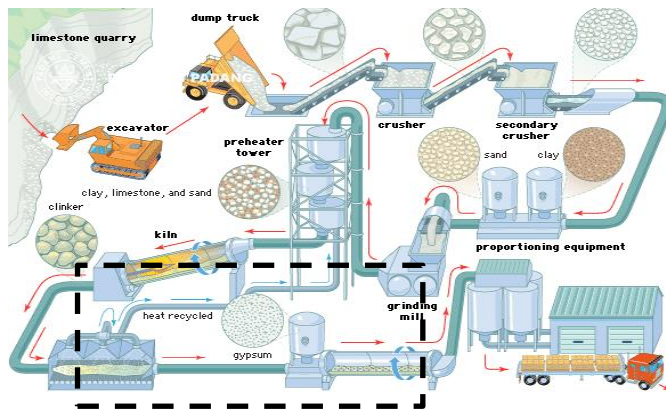
Prabu dan Runger dalam Montgomery (2005) menetapkan nilai batas kontrol atas atau H yang merupakan nilai tabel diagram kontrol MEWMA yang disesuaikan dengan jumlah variabel yang digunakan. Lawry et al dalam Montgomery (2005) mengemukakan bahwa semakin kecil nilai pembobot ( $\lambda$ ) maka akan lebih efektif untuk mendeteksi pergeseran yang kecil dari vektro *mean*.

**Tabel 2.1** Tabel nilai batas kontrol atas (H)

p		0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8
2	H	7,35	8,64	9,65	10,08	10,31	10,44	10,52	10,58
4		11,52	12,73	13,87	14,34	14,58	14,71	14,78	14,88
6		14,6	16,27	17,51	18,01	18,26	18,39	18,47	18,54
10		20,72	22,67	24,07	24,62	24,89	25,03	25,11	25,17
15		27,82	30,03	31,59	32,19	32,48	32,63	32,71	32,79

## 2.7 Proses Produksi Semen

Proses produksi semen di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk untuk menghasilkan semen melewati lima tahap yaitu proses penyiapan bahan baku, proses pengolahan bahan, proses pembakaran, proses penggilingan akhir, proses pengemasan. Dalam penelitian ini digunakan pada satu tahapan proses yaitu penggilingan akhir (*finish mill*).



Sumber: <http://www.semenpadang.co.id/>

**Gambar 2.1** Proses Produksi Semen

### 1. Penyediaan Bahan Mentah

Penyediaan bahan mentah ini yakni batu kapur dan tanah liat. Bahan- bahan tersebut akan dipecah menggunakan mesin *Crusher* sebagai alat utama untuk menghasilkan bebatuan kapur dengan ukuran yang sesuai persyaratan. Untuk tanah liat, diproses dalam *Clay Cutter* untuk mendapatkan ukuran yang sesuai persyaratan. Hasil produk dalam tahap ini adalah *Mix Pile* yang merupakan campuran antara batu kapur dan tanah liat. Selanjutnya bahan baku akan dikenai proses *pre-blending* dan pra-homogen yang bertujuan untuk memperoleh

material yang lebih homogen di *Reclamer Scrapper*, selanjutnya bahan baku akan diletakkan di *Pile Storage*.

## 2. Pengolahan Bahan

Dalam proses ini, semua bahan baku akan masuk ke raw mill melalui feeder-feeder untuk kemudian digiling menjadi bentuk serbuk halus dengan ukuran maksimum 90 micron dan kadar air 1% dikenal sebagai produk *raw mill/kiln feed*. Untuk proses pengeringan bahan baku dilakukan dengan memakai gas sisa pembakaran dari kiln.

Selanjutnya, produk dari *raw mill* akan dimasukkan ke *blending silo*, sesuai dengan namanya, silo ini selain digunakan untuk menyimpan produk dari *raw mill* juga digunakan untuk mencampur produk *raw mill* hingga homogen sebelum dibakar dalam *kiln*. Jadi ketika produk *raw mill* diisikan ke dalam silo, produk *raw mill* akan masuk dan membentuk lapisan-lapisan dengan komposisi kimia yang kurang seragam sehingga material yang terdapat di dalam silo ini harus dihomogenkan (*blending*).

Jika produk *raw mill* tidak homogen, maka akan berpengaruh pada operasi *kiln* yaitu proses pembakaran yang terjadi tidak stabil, pembentukan *ring* (cincin) di *kiln*, kebutuhan bahan bakar tinggi, pembentukan *coating* menjadi tidak stabil, *life time brick* akan rendah dan mengurangi *output kiln*.

## 3. Pembakaran

Pembakaran produk *raw mill* ini dilakukan di *kiln*, namun sebelum produk *raw mill* masuk ke *kiln*, bahan baku tersebut terlebih dahulu melewati *preheater* yang merupakan alat untuk melakukan pemanasan awal. Pemanasan awal produk *raw mill* ini diperlukan untuk menghemat panas saat pembakaran di *kiln*. Proses pemanasan awal di *preheater* ini memiliki empat *cyclone* bertingkat yang suhunya bertingkat pula mulai dari  $\pm 330^{\circ}\text{C}$ ,  $\pm 540^{\circ}\text{C}$ ,  $\pm 720^{\circ}\text{C}$ , dan  $\pm 840^{\circ}\text{C}$ .

Setelah melewati *preheater*, produk *raw mill* akan masuk ke *rotary kiln*, di dalam *kiln* ini terjadi proses kimia, produk *raw mill* atau *clinkerisasi* yang terjadi melalui pembakaran pada suhu  $1450^{\circ}\text{C}$ . Pembakaran dilakukan dengan *fire burner* yang berbahan bakar batu bara, *industrial diesel oil* cair (IDO), atau bahan bakar alternatif.

Produk keluaran *kiln* ini disebut *clinker* atau yang lebih dikenal dengan terak. *Clinker* yang masih panas ini selanjutnya akan didinginkan secara mendadak dalam *cooler*. Pendinginan ini bertujuan untuk menjaga kualitas *clinker* dengan menghindari disosiasi  $\text{C}_3\text{S}$  menjadi  $\text{C}_2\text{S}$  serta untuk *safety* ketika pemindahan maupun penyimpanan.

#### 4. Penggilingan Akhir

Setelah keluar dari *cooler*, *clinker* ini disimpan di *clinker storage* atau dijual ke pabrik semen yang lain sebagai bahan baku semen. Untuk *clinker* yang disimpan, selanjutnya *clinker* dibawa menuju *cement mill* untuk dilakukan penggilingan dengan *gymsum* serta material tambahan lainnya. Biasanya komposisi penggilingan ini adalah  $\pm 96\%$  *clinker* dan dari  $\pm 4\%$  *gypsum* untuk semen OPC dan  $\pm 86\%$  *clinker*,  $\pm 10\%$  *Pozzoland*, dan dari  $\pm 4\%$  *gypsum* untuk semen PPC.

Proses pencampuran bahan di *cement mill* ini yang nantinya akan menentukan jenis semen yang di produksi. Setelah proses di *cement mill* berakhir semen akan dibawa menuju silo sesuai dengan jenisnya. *Silo* ini merupakan tempat penyimpanan semen jadi yang siap dikemas dalam *bag* maupun curah/ *bulk*.

#### 5. Pengantongan

Semen yang akan di *release* ke konsumen dapat berupa dalam kemasan *bag/sak* atau curah. Untuk semen dalam bentuk *bag/sak*, pengantongan atau pengemasan dilakukan dengan mesin yang bernama *packing machine*. Setelah dikemas dalam kantong, semen akan diangkut menggunakan truk untuk dikirim langsung ke gudang penyangga atau

distributor. Namun dapat juga diangkut menggunakan truk lalu dibawa ke pelabuhan untuk selanjutnya dimuat menggunakan kapal menuju daerah pemasaran yang cukup jauh atau luar pulau.

Pada proses pengantongan bag/sak semen dilakukan setelah semen yang berada di silo dimasukkan ke *bucket elevator*, dalam *bucket elevator* dilakukan *Vibrating screen* digunakan sebagai alat saring untuk membuang material kasar yang bercampur semen sebelum masuk ke *air slide*. Selanjutnya masuk pada *bin central* untuk dilakukan pengadukan agar bercampur dengan merata. Setelah melewati *bin central* akan masuk dalam *packing machine* atau *roto packer* pada proses ini, sebuah mesin yang digunakan untuk pengantong semen secara otomatis. Semen yang sudah dikemas, kemudian disortir dan dicari penyebab cacat. Semen yang cacat akan diarahkan ke mesin *cutter* sehingga semen jatuh di *air slide* dan kembali ke *bucket elevator*. Selanjutnya semen yang sudah terisi dilanjutkan dengan alat transportasi terbentuk sabuk dan digerakkan oleh motor yaitu *belt conveyor*. Setelah semen per sak jatuh di truk, para sopir memeriksa semen pesannya. Apabila ada yang cacat atau sobek, semen akan dikembalikan dan diganti yang baru.

## 2.8 Kualitas Semen

Dalam pemakaian semen beberapa hal parameter yang menjadi perhatian pada saat semen dipakai di lapangan (Smidth, 1996) yaitu :

### 1. *Setting Time* (Waktu Pengikatan)

$C_3A$  akan bereaksi paling cepat menghasilkan  $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3H_2O$  senyawa ini membentuk gel yang bersifat cepat set (kaku) sehingga akan mengontrol sifat *setting time*. Untuk mengontrol waktu pengikatan ditambahkan gypsum sebagai *retarder* yang memperlambat proses pengikatan. Dalam prakteknya sifat set ini ditunjukkan dengan waktu pengikatan (*setting time*) yaitu waktu mulai dari adonan terjadi sampai mulai

terjadi kekakuan. Dikenal ada dua macam *setting time* yaitu *initial setting time* dan *final setting time*. *Initial setting time* yaitu waktu pengikatan awal mulai dari adonan sampai mulai terjadi kekakuan tertentu dimana adonan sudah mulai tidak *workable*, sedangkan *final setting time* adalah waktu pengikatan akhir mulai dari adonan terjadi sampai mengalami kekakuan penuh.

## **2. Kuat Tekan**

Kuat tekan adalah sifat kemampuan menahan atau memikul suatu beban tekan. Kuat tekan adalah sifat paling penting yang harus dipunyai disamping sifat lain yaitu kekuatan Tarik dan kekuatan lentur. Kuat tekan merupakan parameter utama yang digunakan dalam pemasaran semen. Dalam industri beton sebagai salah satu parameter yang jadi acuan dalam memilih semen yang dipakai adalah seberapa nilai kuat tekan dan harga yang ditawarkan. Hal ini mendasari mengapa dalam penelitian ini difokuskan pengaruh terhadap kuat tekan. Faktor- faktor yang mempengaruhi kuat tekan semen diantaranya

### **1. Kehalusan semen**

Kehalusan semen dapat dinyatakan sebagai

- Luas permukaan spesifik partikel semen. Nilai ini diperoleh dengan metode permeabilitas udara (*blaine*). Semakin tinggi nilai *blaine* maka semakin tinggi pula tingkat kehalusannya sehingga menghasilkan kekuatan tekan yang tinggi. Hal ini karena semakin luasnya permukaan yang bereaksi dengan air dan kotak dengan agregat.
- Residu pada saringan mesh 200 dan 325 mesh. Partikel lebih dari 45 memiliki reaktivitas rendah dan tidak memberikan kontribusi yang signifikan bagi perkembangan kekuatan semen. Partikel lebih dari 75 mungkin tidak bereaksi sama sekali.

### **2. Komposisi kimia**

C<sub>3</sub>S memberikan kontribusi yang besar pada perkembangan kekuatan awal, sedangkan C<sub>2</sub>S memberikan



kontribusi kekuatan tekan pada umur yang lebih panjang.  $C_3A$  memengaruhi kekuatan tekan sampai pada tingkat tertentu, pada umur 28 hari dan pengaruh ini makin kecil sampai pada nol pada umur setelah satu atau dua tahun.  $C_4AF$  tidak memengaruhi kekuatan tekan terlalu banyak.  $MgO$  tidak memberikan kontribusi yang berarti pada pengembangan kekuatan tekan. Bahkan akan mengakibatkan ekspansi yang halus, berupa retak-retak rambut, apabila kandungan  $MgO$  dalam semen cukup tinggi.

### **3. *Loss on Ignition***

Jumlah *loss on Ignition* (LOI) atau hilang pijar ditambahkan akan memengaruhi kuat tekan semen. Selain itu nilai LOI yang bertambah pada penyimpanan akan mengindikasikan penurunan kuat tekan disebabkan terjadi prehidrasi pada semen.

### **4. Jumlah gypsum yang ditambahkan ( $SO_3$ dalam semen)**

*Gypsum* yang ditambahkan selain memengaruhi *setting time* akan berpengaruh pada kuat tekan.

### **5. *Shrinkage***

Pada proses pengeringan beton terjadi penguapan dari *Capillary Water* yang menyebabkan terjadinya penyusutan dari volume beton atau *shrinkage*. *Shrinkage* ini dipengaruhi oleh komposisi semen, jumlah *mixing water*, *concrete mix*, dan *curing condition*.

### **6. Panas Hidrasi**

Reaksi hidrasi komponen-komponen semen dengan air adalah eksotermis dan panas yang dilepaskan persatuan berat disebut panas hidrasi. Beberapa jenis semen mensyaratkan panas hidrasi semen yang dibatasi terutama pada semen yang dibuat untuk struktur massa sehingga diperlukan semen dengan panas hidrasi rendah untuk menghindari retak rambut pada beton yang akan menyebabkan cacat dalam beton.

## 7. *Durability* (Ketahanan Beton)

Ketahanan beton *atau durability* beton yang merusak oleh kondisi sekitarnya. Umumnya kerusakan pada beton di daerah tropis disebabkan oleh pengaruh asam, pengaruh sulfat, dan abrasi.

### 2.9 Diagram Ishikawa

Pembuatan diagram sebab akibat bertujuan agar dapat memperlihatkan faktor- faktor penyebab (*root cause*) dan karakteristik kualitas yang (*effect*) disebabkan oleh faktor-faktor penyebab itu .

Umumnya diagram sebab akibat menunjukkan 5 faktor yang disebut sebagai sebab (*cause*) dari suatu akibat (*effect*). Kelima faktor tersebut adalah *man*(manusia atau tenaga kerja), *method* (metode), *material* (bahan), *machine* (mesin), dan *environment* (lingkungan).

Langkah-langkah pembuatan diagram sebab akibat adalah sebagai berikut(Sasongko, 2008).

1. Menentukan masalah atau sesuatu yang akan diamati atau diperbaiki. Gambarkan panah dengan kotak di ujung kanannya dan tulis masalah yang akan diamati atau diperbaiki.
2. Mencari faktor utama yang berpengaruh atau mempunyai akibat pada masalah atau sesuatu tersebut. Tuliskan dalam kotak yang telah dibuat di atas dan di bawah panah yang telah dibuat sebelumnya.
3. Mencari lebih lanjut faktor-faktor yang lebih rinci (faktor-faktor sekunder) yang berpengaruh atau mempunyai akibat pada faktor utama tersebut. Tulislah faktor-faktor sekunder tersebut di dekat panah yang menghubungkannya dengan penyebab utama.
4. Dari diagram yang sudah lengkap, carilah penyebab utama dengan menganalisa data yang ada.

## 2.10 Peta Kendali I-MR

*Individuals and moving range control chart* (I-MR) yang juga dikenali dengan nama *X-MR* atau *Shewhart individuals control chart* adalah peta kendali variabel yang digunakan jika jumlah observasi dari masing-masing ukuran subgrup hanya berjumlah satu unit ( $n = 1$ ). Selain itu, I-MR *Chart* juga sering digunakan apabila sampel yang diperiksa tersebut harus dimusnahkan (tidak dapat dipakai kedua kalinya) atau pada produk berharga tinggi. Langkah-langkah dalam membuat peta kendali I-MR adalah sebagai berikut

1. Menghitung *Moving Range*, rata-rata nilai individu, dan rata-rata *Moving Range*. *Moving range* didefinisikan sebagai jarak atau *range* bergerak antara satu titik data ( $x_i$ ) dengan titik data sebelumnya ( $x_{i-1}$ ), dihitung sebagai  $MR_i = |x_i - x_{i-1}|$ . Untuk nilai-nilai individu  $m$ , terdapat *range*  $m - 1$ . Selanjutnya, rata-rata dari nilai-nilai ini dihitung sebagai berikut

$$\overline{MR} = \sum_{i=2}^m \frac{MR_i}{m-1} \quad (2.13)$$

Keterangan :

$\overline{MR}$  = Rata – rata *Moving Range*

$MR_i$  = *Moving Range* pada titik ke- $i$

$m$  = Banyaknya titik

Kemudian, rata-rata nilai-nilai individu dihitung sebagai berikut

$$\overline{x} = \sum_{i=1}^m \frac{x_i}{m} \quad (2.14)$$

Keterangan :

$\overline{x}$  = Rata – rata dari data

$x_i$  = Data ke- $i$

$m$  = Banyaknya data

2. Menghitung garis pusat, UCL, dan LCL untuk peta kendali *moving range*,

$$\text{Garis Pusat} = \bar{R} = \overline{MR}$$

$$UCL_{MR} = D_4 \overline{MR}$$

$$LCL_{MR} = D_3 \overline{MR}$$

(2.15)

Keterangan :

$\overline{MR}$  = Rata – rata *moving range*

$D_4$  = Faktor untuk membangun peta kendali variabel

$D_3$  = Faktor untuk membangun peta kendali variabel

UCL = Batas kontrol atas

LCL = Batas kontrol bawah

3. Menghitung garis pusat, UCL, dan LCL untuk peta kendali individu.

$$\text{Garis Pusat} = \bar{X}$$

$$UCL_X = \bar{X} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2}$$

$$LCL_X = \bar{X} - 3 \frac{\overline{MR}}{d_2}$$

(2.16)

Keterangan :

$\bar{X}$  = Rata – rata dari data

$\overline{MR}$  = Rata – rata *moving range*

$d_2$  = Koefisien untuk pendugaan standar deviasi

UCL = Batas kontrol atas

LCL = Batas kontrol bawah

(Montgomery, 2009)

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Sumber Data**

Penelitian ini akan menggunakan data sekunder dari data laporan kualitas pada produk periode bulan 1 Januari 2014 sampai bulan 31 Desember 2014 untuk produk semen PPC yang didapatkan dari Laboratorium *Quality Assurance* di Seksi Jaminan Mutu. Data yang digunakan merupakan data dari satu tahapan proses produksi semen yakni pada Proses Penggilingan Akhir yang terjadi di *Finish Mill*. Pada Pabrik Tuban 4 dilakukan proses produksi untuk semen PPC yakni pada *Mill 7* dan 8. Pengambilan sampel dilakukan di masing- masing *Finish Mill* yang bersifat homogen. Pengambilan sampel dilakukan setiap 1 kali dalam satu hari. Dalam satu kantong sak semen diambil sebanyak 3 kg untuk dilakukan pengujian kualitas semen. Untuk uji kimia diambil sebanyak 100 gram meliputi 10 gram diambil untuk reparasi X-Ray dan 90 gram dilakukan untuk pengujian *Lost of Ignition (Loi)*, *Insoluble*, dan *Mesh*. Sedangkan untuk 2900 gram digunakan untuk uji fisika meliputi *blaine*, kuat tekan dan *setting time*.

#### **3.2 Variabel Penelitian**

Variabel penelitian yang digunakan pada penelitian ini terbagi menjadi dua, yaitu variabel respon (y) dan variabel prediktor (x). Dalam penelitian ini, digunakan variabel respon yakni kuat tekan.

1. Kuat tekan merupakan sifat kemampuan menahan atau memikul suatu beban tekan. Kuat tekan menjadi parameter utama dalam pemasaran semen dengan target  $170 \text{ kg/cm}^2$  untuk kuat tekan selama 3 hari,  $250 \text{ kg/cm}^2$  untuk kuat tekan selama 7 hari, dan  $300 \text{ kg/cm}^2$  untuk kuat tekan selama 28 hari.
2. *Blaine* adalah uji kehalusan semen dengan batas spesifikasi bawah sebesar  $340 \text{ m}^2/\text{gram}$  untuk semen OPC dan  $360 \text{ m}^2/\text{gram}$  untuk semen PPC.

3. *Insoluble* adalah indikator penambahan jumlah *pozzoland* untuk produk semen PPC dengan target sebesar 14,5%

4. *Mesh* adalah uji kehalusan semen dengan menggunakan ayakan. Untuk semen digunakan ayakan 45 mikron atau mesh 325 dengan batasan minimal untuk residu (bagian yang tertahan diatas ayakan) minimal 10%.

Semakin tinggi nilai *blaine* dan *mesh* maka semakin tinggi pula tingkat kehalusan semen sehingga menghasilkan kuat tekan yang tinggi. Pengujian *blaine* cenderung bias terutama untuk produk semen PPC karena permeabilitas semen dipengaruhi oleh kelembaban contoh semen. Variabel *insoluble* yang ditambahkan selain mempengaruhi *setting time*, juga akan memberikan pengaruh negatif terhadap kuat tekan. Semakin tinggi nilai *insoluble* maka menyebablam semakin turun nilai kuat tekan. Tabel 3.1 merupakan variabel yang akan digunakan dalam penelitian.

**Tabel 3.1** Variabel Penelitian

Jenis Uji	Variabel	Keterangan	Jenis	Satuan	Persyaratan Semen PPC		Tolerance Design
					Bawah	Atas	
Kehalusan Semen	X <sub>1</sub>	<i>Blaine</i>	Prediktor	(m <sup>2</sup> /gram)	340	360	Larger the Better
	X <sub>3</sub>	<i>Mesh</i>	Prediktor	(%)	9	17	Larger the Better
Jumlah Pozzoland	X <sub>2</sub>	<i>Insoluble</i>	Prediktor	(%)	80	92	Smaller the Better
	Y <sub>1</sub>	Kuat Tekan selama 3 hari	Respon	kg/cm <sup>2</sup>	170	220	Larger the Better
Kuat Tekan	Y <sub>2</sub>	Kuat Tekan selama 7 hari	Respon	kg/cm <sup>2</sup>	250	320	Larger the Better
	Y <sub>3</sub>	Kuat Tekan selama 28 hari	Respon	kg/cm <sup>2</sup>	300	398	Larger the Better

Pengukuran variabel-variabel yang ada di PT. Semen Indonesia (Persero), Tbk didasarkan pada pemeriksaan yang dilakukan oleh bagian laboratorium *Quality Assurance*. Kuat tekan dipengaruhi oleh *blaine*, jumlah *pozzoland* yang ditunjukkan dalam pengujian *insoluble*, dan *mesh*. Langkah pengujian kuat tekan dilakukan dengan membuat mortar untuk jumlah semen sebanyak 740 gram dan pasir Ottawa 2.035 gram diaduk dengan air sebanyak 360 ml dimasukkan ke dalam cetakan berbentuk kubus 5x5x5 dikeringkan selama 24 jam. Cara pengadukan dan cara pencetakan dilakukan sesuai standar uji. Apabila sudah kering, benda uji kubus dilepaskan dari cetakan dan direndam untuk umur uji selama 1 hari, 3 hari, 7 hari, dan 28 hari. Pengujian kuat tekan dilakukan menggunakan mesin kuat tekan seperti di press.

Tabel 3.2 merupakan struktur data berdasarkan hasil pengukuran yang telah dilakukan dapat ditampilkan pada tabel 3.2 berikut ini.

**Tabel 3.2** Struktur Data Penelitian

No Observasi	Variabel Prediktor			Variabel Respon			Nilai Residual		
	X <sub>1i</sub>	X <sub>2i</sub>	X <sub>3i</sub>	y <sub>1i</sub>	y <sub>2i</sub>	y <sub>3i</sub>	e <sub>1i</sub>	e <sub>2i</sub>	e <sub>3i</sub>
1	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>31</sub>	y <sub>11</sub>	y <sub>12</sub>	y <sub>31</sub>	e <sub>11</sub>	e <sub>12</sub>	e <sub>31</sub>
2	X <sub>12</sub>	X <sub>22</sub>	X <sub>32</sub>	y <sub>12</sub>	y <sub>22</sub>	y <sub>32</sub>	e <sub>12</sub>	e <sub>22</sub>	e <sub>32</sub>
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
N	X <sub>1n</sub>	X <sub>2n</sub>	X <sub>3n</sub>	y <sub>1n</sub>	y <sub>2n</sub>	y <sub>3n</sub>	e <sub>1n</sub>	e <sub>2n</sub>	e <sub>3n</sub>

Keterangan:

i = Pengamatan

N = Jumlah pengamatan

X<sub>1</sub> = Variabel prediktor *Blaine* (m<sup>2</sup>/gram)

X<sub>2</sub> = Variabel prediktor *Insoluble* (%)

X<sub>3</sub> = Variabel prediktor *Mesh* (%)



$Y_1$	= Variabel respon kuat tekan selama 3 hari ( $\text{kg/cm}^2$ )
$Y_2$	= Variabel respon kuat tekan selama 7 hari ( $\text{kg/cm}^2$ )
$Y_3$	= Variabel respon kuat tekan selama 28 hari ( $\text{kg/cm}^2$ )
$E_1$	= Nilai residual model regresi kuat tekan selama 3 hari
$E_2$	= Nilai residual model regresi kuat tekan selama 7 hari
$E_3$	= Nilai residual model regresi kuat tekan selama 28 hari

### 3.3 Langkah Analisis

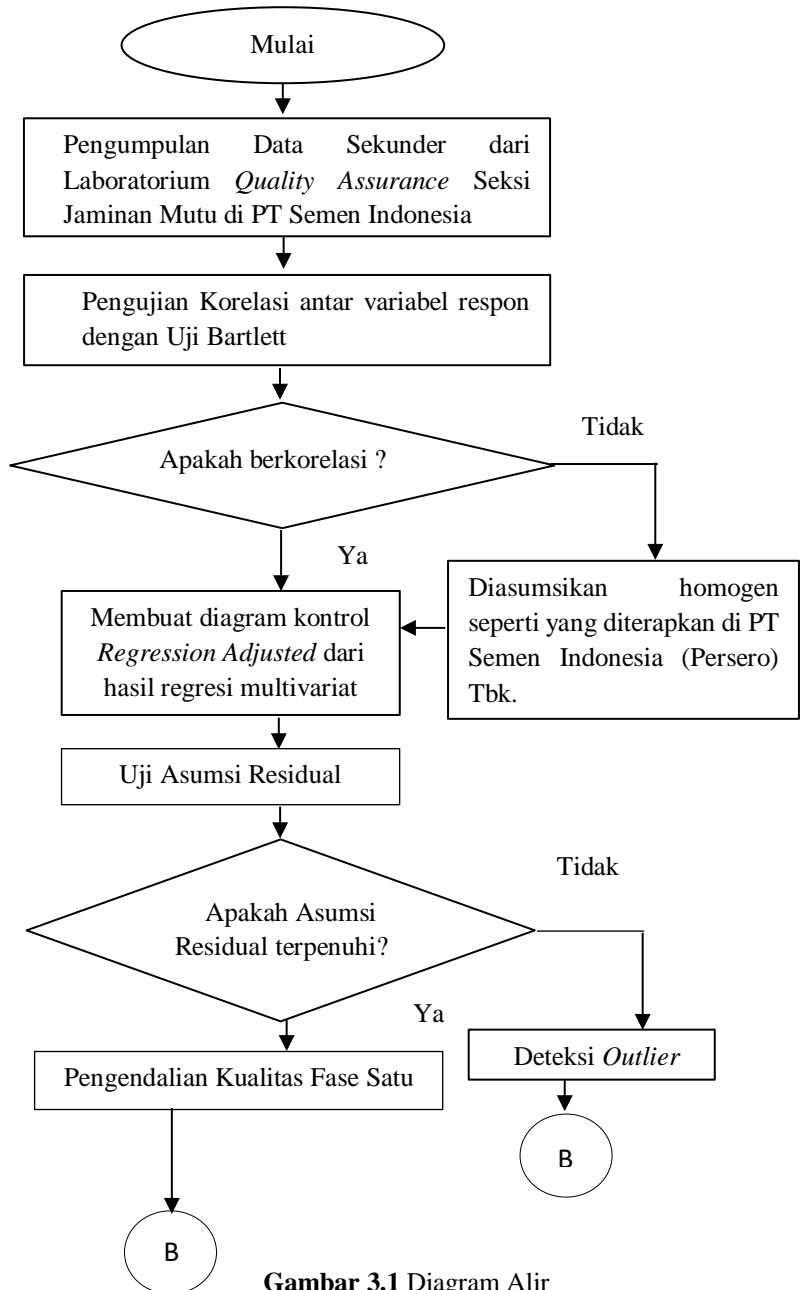
Langkah-langkah analisis dalam menganalisis data yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah:

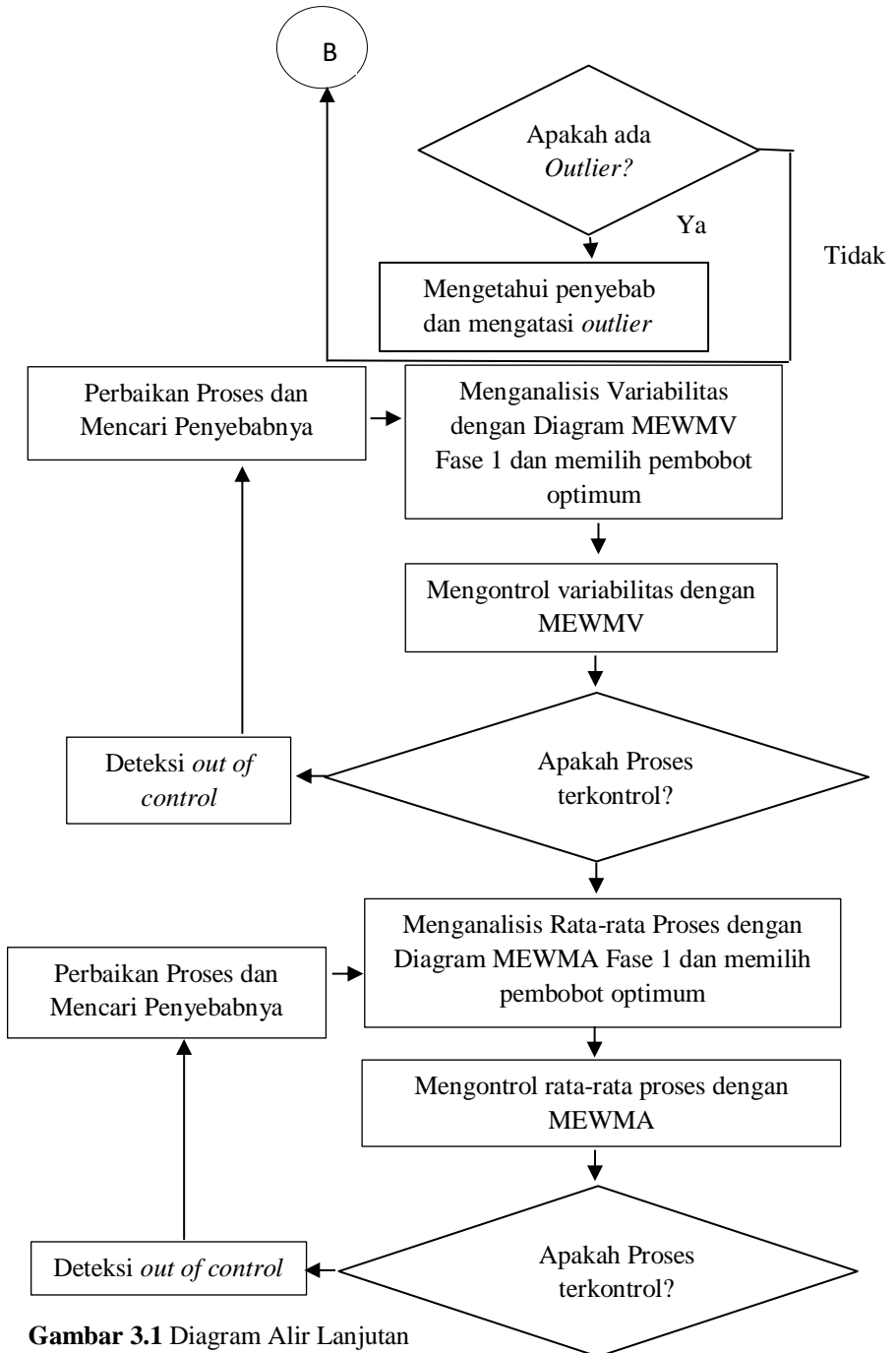
1. Mendeskripsikan karakteristik kualitas pada produk semen PPC untuk variabel kualitas *blaine*, *mesh*, dan *insoluble* dengan nilai *mean*, *varians*, nilai minimum, dan nilai maksimum.
2. Melakukan pengujian korelasi antarvariabel secara multivariat dengan Uji Bartlett. Jika terdapat korelasi maka dapat dilanjutkan untuk analisis regresi.
3. Mengendalikan kualitas dengan *Regression Adjustment Control Chart* digunakan untuk melakukan pengendalian dengan pendekatan regresi yaitu dengan menggunakan regresi multivariat. Sehingga didapatkan residual yang digunakan untuk pengendalian kualitas.
4. Melakukan uji asumsi residual hasil dari analisis regresi multivariat. Jika asumsi terpenuhi, maka pengendalian variabilitas dan rata-rata proses dilakukan dengan diagram kontrol MEWMV dan MEWMA pada fase satu dan menetapkan pembobot optimal namun apabila asumsi tidak terpenuhi maka dilakukan deteksi *outlier*.
5. Residual yang diperoleh digunakan untuk pengendalian kualitas. Jika telah terkendali maka dilanjutkan dengan melakukan pengendalian variabilitas proses dengan diagram kontrol MEWMV dengan langkah berikut.

- a. Membuat matriks C dengan ukuran  $m \times m$ , dengan nilai diagonal utama  $\omega$  (nilai pembobot yang telah ditentukan sebelumnya).
  - b. Membuat matriks M yang merupakan matriks segitiga bawah dengan elemennya  $\lambda$  (nilai pembobot yang telah ditentukan sebelumnya).
  - c. Membuat matriks  $I_m$ , merupakan matriks identitas yang berukuran  $m \times m$ .
  - d. Menghitung matriks Q yang digunakan untuk mendapatkan  $\text{tr}(V_m)$  sebagai matriks karakteristik kualitas yang akan dikontrol.
  - e. Menghitung nilai  $\text{tr}(V_m)$
  - f. Membuat  $E(\text{tr}(V_m))$  dan menghitung  $\text{Var}(\text{tr}(V_m))$ .
  - g. Menentukan batas diagram kontrol setiap pengamatan
 
$$\text{ke } m \quad E[\text{tr}(V_m)] \pm L\sqrt{\text{Var}[\text{tr}(V_m)]}$$
6. Melakukan pengendalian rata-rata proses dengan diagram kontrol MEWMA dengan langkah sebagai berikut.
    - a. Menentukan nilai pembobot  $\lambda$ ,  $0 \leq \lambda \leq 0,9$ , dengan  $h_4$  yang sebelumnya telah ditentukan pada diagram kontrol MEWMA.
    - b. Menghitung matriks varian kovarian  $\Sigma$
    - c. Menghitung vektor MEWMA  $Z_i$
    - d. Menghitung statistik MEWMA  $T_i^2$
  7. Melakukan pengendalian variabilitas dan rata-rata proses dengan diagram kontrol MEWMV dan MEWMA pada fase 2 dengan pembobot optimal yang sudah didapatkan pada fase satu.
  8. Mengambil kesimpulan.

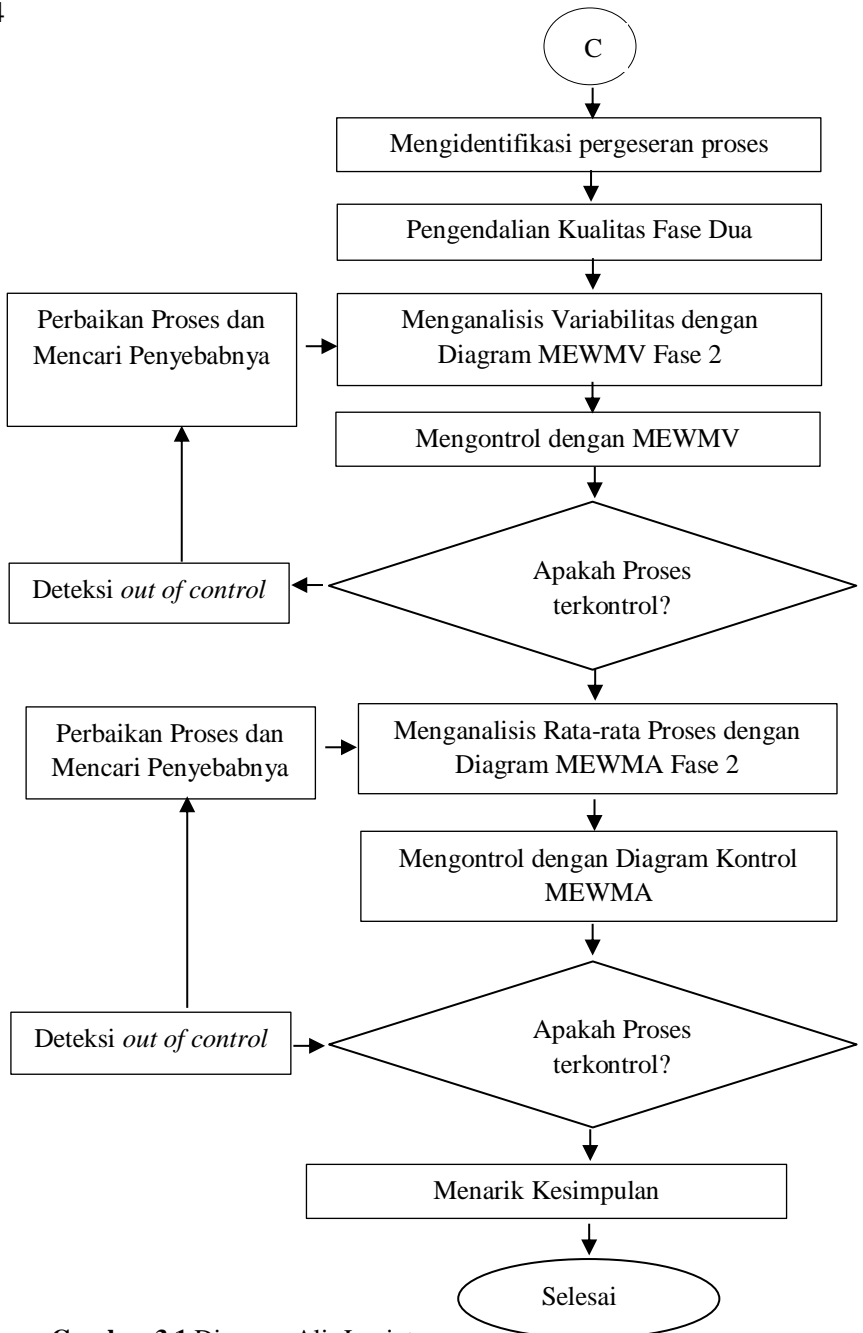
### 3.4 Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah analisis yang dilakukan pada penelitian tugas akhir ini dapat di gambarkan dalam diagram alir sebagai berikut :

**Gambar 3.1** Diagram Alir



**Gambar 3.1** Diagram Alir Lanjutan



**Gambar 3.1** Diagram Alir Lanjutan

## BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Deskripsi Kualitas Semen PPC pada Pabrik Tuban 4 Mill 7

Karakteristik kualitas dari kuat tekan, *blaine*, *insoluble*, dan *mesh* dapat disajikan secara deskriptif dengan menggunakan nilai rata-rata, varians, nilai minimum, dan nilai maksimum dari hasil pengamatan pada proses penggilingan akhir produk semen PPC di PT Semen Indonesia (Persero) Tbk. Tabel 4.1 merupakan statistika deskriptif kualitas semen PPC Pabrik Tuban 4 Mill 7.

**Tabel 4.1** Statistika Deskriptif Kualitas Pabrik Tuban 4 Mill 7

Fase	Variabel	Mean	Var	Min	Mak	Target Perusahaan
Satu (periode Januari 2014 – Juni 2014)	<i>Blaine</i> (x1)	<b>350,9</b>	217,95	293	380	<b>360</b>
	<i>Insoluble</i> (x2)	<b>13,077</b>	4,351	6,46	17,62	<b>14,50%</b>
	<i>Mesh</i> (x3)	93,763	5,102	86,65	97,07	90%
Dua (periode Juli 2014 – Desember 2014)	<i>Blaine</i> (x1)	<b>352,18</b>	286,70	317	393	<b>360</b>
	<i>Insoluble</i> (x2)	<b>13,186</b>	2,606	7,51	15,22	<b>14,50%</b>
	<i>Mesh</i> (x3)	90,533	10,752	80,55	98,61	90%

Untuk memproduksi semen PPC, PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk telah menentukan syarat spesifikasi pada setiap karakteristik kualitas semen. Pada fase 1 didapatkan informasi bahwa *blaine* memiliki rata-rata sebesar 350,9 m<sup>2</sup>/gram lebih rendah dari target yang ditentukan perusahaan untuk semen PPC adalah 360 m<sup>2</sup>/gram. Nilai minimum untuk *blaine* sebesar 293 m<sup>2</sup>/gram lebih rendah dari 360 m<sup>2</sup>/gram. Nilai maksimum *blaine* sebesar 380 m<sup>2</sup>/gram masih di dalam batas spesifikasi atas perusahaan yang ditetapkan sebesar 400 m<sup>2</sup>/gram. Begitu juga pada

fase 2, nilai *blaine* masih didalam batas spesifikasi atas perusahaan sebesar 393 m<sup>2</sup>/gram.

Rata- rata dan nilai minimum *insoluble* pada fase 1 berada dibawah target yang ditetapkan perusahaan sebesar 14,5% , namun hal tersebut tidak berlaku untuk nilai maksimum *insoluble* sebesar 17,62% dimana nilai tersebut melebihi batas atas yang ditentukan perusahaan yakni 16%. Namun pada fase 2, masih didalam batas spesifikasi atas perusahaan dengan nilai maksimum *insoluble* sebesar 15,22%.

Batas spesifikasi yang ditetapkan perusahaan untuk variabel *mesh* pada semen PPC sebesar 98%. Pada fase satu didapatkan nilai maksimum sebesar 97,07% artinya masih berada pada spesifikasi yang telah ditetapkan perusahaan. Namun, pada fase dua nilai *mesh* cenderung melebihi batas spesifikasi yakni sebesar 98,61%.

Pada variabel *blaine* dan *mesh* nilai varians tertinggi terjadi pada fase dua yang artinya tingkat keragaman *blaine* dan *mesh* yang digunakan pada fase dua cenderung besar. Lain halnya dengan variabel *insoluble* nilai varians tertinggi terjadi pada fase satu.

Masih terdapat kandungan dari karakteristik kualitas yang melebihi batas spesifikasi atas yang telah ditetapkan perusahaan bisa menyebabkan terjadinya produk cacat. Sehingga hal ini perlu dijadikan pertimbangan bagi perusahaan agar lebih memperhatikan karakteristik kualitas yang masih diluar batas kendali agar bisa memberikan proses yang stabil dalam memproduksi semen PPC.

## **4.2 Pemeriksaan Dependensi Kuat Tekan**

Pengujian korelasi digunakan untuk mengetahui hubungan antar karakteristik kualitas secara statistik. Hal ini dilakukan untuk tahapan selanjutnya dalam pembuatan diagram kontrol multivariat dimana syarat yang harus dipenuhi adalah memenuhi asumsi bahwa variabel yang diamati terdapat korelasi. Karakteristik kualitas yang digunakan dalam penelitian ini ada tiga yaitu kuat tekan selama 3 hari, 7 hari, dan 28 hari. Oleh karena itu, untuk memeriksa apakah ketiga variabel tersebut saling dependen digunakan uji *Bartlett sphericity*.

#### 4.2.1 Uji Korelasi Fase Satu

Pengujian korelasi antar variabel respon digunakan untuk mengetahui hubungan antar karakteristik kualitas secara statistik. Sebelum menggunakan diagram kontrol multivariat untuk pengendalian kualitas, asumsi pertama yang harus dipenuhi adalah antar variabel saling berkorelasi.

Pada ketiga karakteristik kualitas yang diamati, digunakan pengujian matriks korelasi untuk mengetahui apakah terdapat hubungan antara kuat tekan selama 3 hari, 7 hari, dan 28 hari. Dalam pengujian korelasi ini, metode yang digunakan adalah uji *Bartlett sphericity*. Untuk menguji kebebasan antar variabel dapat dirumuskan ke dalam hipotesis sebagai berikut:

$$H_0 : r = \mathbf{I}$$

$$H_1 : r \neq \mathbf{I}$$

Berdasarkan hasil pengujian untuk data fase 1 untuk tiga karakteristik kualitas didapatkan nilai signifikansi sebesar 0,000 dengan tingkat signifikansi  $\alpha$  sebesar 0,05 sehingga keputusan yang diperoleh adalah tolak  $H_0$  artinya terdapat korelasi antara variabel kuat tekan selama 3 hari, kuat tekan selama 7 hari, dan kuat tekan selama 21 hari.

#### 4.2.2 Uji Korelasi Fase Dua

Sama seperti pengujian korelasi pada fase satu, uji asumsi variabel respon juga diperlukan pada fase dua. Pada ketiga karakteristik kualitas yang diamati, digunakan pengujian matriks korelasi untuk mengetahui apakah terdapat hubungan antara kuat tekan selama 3 hari, 7 hari, dan 28 hari. Dalam pengujian korelasi ini, metode yang digunakan adalah uji *Bartlett sphericity*. Untuk menguji kebebasan antar variabel dapat dirumuskan ke dalam hipotesis sebagai berikut:

$$H_0 : r = \mathbf{I}$$

$$H_1 : r \neq \mathbf{I}$$

Pengujian dilakukan pada fase dua dengan tiga karakteristik kualitas diperoleh nilai signifikansi sebesar 0,000 dengan tingkat signifikansi  $\alpha$  sebesar 0,05 maka keputusan yang diambil adalah



tolak  $H_0$ . Sehingga dapat disimpulkan bahwa matrik korelasi tidak sama dengan matrik identitas sehingga terdapat korelasi antara variabel kuat tekan selama 3 hari, kuat tekan selama 7 hari, dan kuat tekan selama 28 hari.

### 4.3 Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat

Pemeriksaan asumsi normal multivariat dilakukan untuk ketiga karakteristik kualitas yakni kuat tekan selama 3 hari, kuat tekan selama 7 hari, kuat tekan selama 28 hari.

#### 4.3.1 Uji Distribusi Normal Multivariat Fase Satu

Setelah asumsi yang pertama terpenuhi, selanjutnya uji asumsi yang harus dipenuhi adalah data berdistribusi normal multivariat pada data fase 1 periode Januari 2014 – Juni 2014 dapat dirumuskan hipotesis sebagai berikut.

$H_0$ : Data hasil pengamatan fase 1 berdistribusi normal multivariat.

$H_1$ : Data hasil pengamatan fase 1 tidak berdistribusi normal multivariat.

Dengan menggunakan *macro minitab* yang dapat dilihat pada Lampiran C, diperoleh nilai t sebesar 0,551724. Nilai tersebut menunjukkan bahwa telah lebih dari 50% jarak  $d_{jk}^2 \leq \chi_{p, \frac{i-0,5}{n}}^2$

maka keputusan yang diambil adalah gagal tolak  $H_0$  dan disimpulkan bahwa data berdistribusi normal multivariat. Nilai d dan q-q plot hasil dari *macro minitab* dapat dilihat pada Lampiran 3. Oleh karena itu, setelah pengujian asumsi multivariat terpenuhi yakni data berkorelasi dan berdistribusi normal multivariat maka dapat dilanjutkan ke analisis *Regression Adjusted* dengan menggunakan regresi multivariat.

#### 4.3.2 Uji Distribusi Normal Multivariat Fase Dua

Pemeriksaan asumsi normal multivariat fase dua juga dilakukan untuk ketiga karakteristik kualitas yaitu kuat tekan selama 3 hari, 7 hari, dan 28 hari. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, didapatkan nilai t sebesar 0,4848. Nilai ini berada

di sekitar 50% sehingga dapat disimpulkan bahwa karakteristik kualitas berdistribusi normal multivariat. Selain itu, untuk meyakinkan bahwa data berdistribusi normal multivariat dapat dilihat pada Lampiran B2. Titik-titik pada diagram pencar tersebar mendekati garis lurus, dengan demikian dapat disimpulkan bahwa secara visual, data karakteristik kualitas semen PPC mengikuti pola berdistribusi normal multivariat.

#### 4.4 *Regression Adjusted* dengan Pendekatan Regresi Multivariat pada Proses Produksi Semen PPC

Setelah uji asumsi korelasi dan normal multivariat terpenuhi, pengendalian kualitas dilakukan dengan pendekatan regresi multivariat. Berdasarkan hasil pengamatan pada karakteristik kualitas *Blaine* ( $x_1$ ), *Insoluble* ( $x_2$ ), *Mesh* ( $x_3$ ), Kuat Tekan selama 3 hari ( $y_1$ ), Kuat tekan selama 7 hari ( $y_2$ ), dan Kuat Tekan selama 28 hari ( $y_3$ ) dianalisis menggunakan regresi multivariat untuk mendapatkan model yang terbentuk dari kuat tekan.

##### 4.4.1 Model Regresi Fase 1 Periode Januari 2014 -Juni 2014

. Langkah awal dalam analisis regresi multivariat adalah mengestimasi parameter yang bertujuan untuk mendapatkan model. Berikut ini merupakan model regresi multivariat yang diperoleh.

$$Y_1 = \beta_0 + \beta_1 x_i$$

$$Y_2 = \beta_0 + \beta_1 x_i \text{ dengan } i = 1, 2, \dots, n$$

**Tabel 4.2** Estimasi Parameter Model Regresi Multivariat Fase 1

Variabel	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$
<b>Y1</b>	485	-0,749	-8,11	0,80
<b>Y2</b>	637	-0,814	-11,06	0,42
<b>Y3</b>	522	-0,398	-14,69	1,27

Seperti pada Tabel 4.2 telah didapatkan model regresi pada masing-masing variabel respon. Pada variabel prediktor *blaine*,

*insoluble*, dan *mesh* menghasilkan semen yang akan diuji kuat tekan selama 3 hari ( $y_1$ ), kuat tekan selama 7 hari ( $y_2$ ), dan kuat tekan selama 28 hari ( $y_3$ ). Berikut merupakan model yang terbentuk dari masing-masing variabel respon.

$$\hat{y}_1 = 485 - 0,749 x_1 - 8,11 x_2 + 0,80 x_3 \text{ dengan nilai } R^2 = 50,38\%$$

$$\hat{y}_2 = 637 - 0,814 x_1 - 11,06 x_2 + 0,42 x_3 \text{ dengan nilai } R^2 = 60,01\%$$

$$\hat{y}_3 = 522 - 0,398 x_1 - 14,69 x_2 + 1,27 x_3 \text{ dengan nilai } R^2 = 54,11\%$$

Berdasarkan analisis regresi multivariat, telah didapatkan model regresi multivariat untuk kuat tekan yang diukur dari faktor *blaine*, *insoluble*, dan *mesh*. Setiap penambahan satu unit *mesh* akan meningkatkan kuat tekan selama 3 hari sebesar 0,80 apabila nilai dari variabel *blaine* dan *insoluble* tetap namun berbeda dengan variabel *blaine* dan *insoluble* saat dilakukan penambahan satu unit pada variabel tersebut akan menurunkan kuat tekan selama 3 hari sebesar 0,749 dan 8,11 dengan nilai *mesh* tetap. Variabel *blaine* bertanda negatif karena dalam pengujian *blaine* cenderung bias karena dipengaruhi oleh kelembaban dari contoh semen. Variabel *insoluble* bertanda negatif karena semakin banyak penambahan jumlah pozzoland akan menyebabkan menurunnya kuat tekan. Variabel *mesh* bertanda positif karena semakin tinggi nilai *mesh* maka semakin tinggi pula tingkat kehalusan semen sehingga berpengaruh juga pada nilai kuat tekan yang tinggi. Begitu juga pada kuat tekan selama 7 hari dan 28 hari, saat penambahan satu unit *mesh* akan meningkatkan kuat tekan namun tidak berlaku juga pada variabel *blaine* dan *insoluble* yang cenderung menurunkan kuat tekan selama 7 hari dan 28 hari.

#### a. Uji Residual Identik

Uji asumsi residual identik digunakan untuk mengetahui apakah matriks varian kovarian dari residual hasil analisis regresi multivariat antara variabel kuat tekan 3 hari, 7 hari, dan 28 hari telah bersifat identik (homogen). Berikut ini merupakan uji hipotesis pada pengujian homogenitas dengan uji Box's M.

$$H_0 : \Sigma_1 = \Sigma_2 = \Sigma_3$$

$H_1$  : minimal ada satu  $\sum_i \neq \sum_m$  untuk  $i \neq m$

Berdasarkan pengujian dengan menggunakan tingkat signifikansi 5%, maka matriks varians kovarians dapat dinyatakan identik apabila nilai *p-value* > 0,05. Dan pada hasil pengujian didapatkan nilai signifikansi sebesar 0,799 > 0,05 maka dapat disimpulkan apabila matriks varians kovarians dari data residual hasil analisis regresi multivariat fase 1 tersebut identik.

#### **b. Uji Residual Berdistribusi Normal Multivariat**

Setelah uji asumsi identik, pengujian asumsi residual selanjutnya untuk hasil analisis regresi multivariat adalah mengetahui apakah variabel Kuat tekan selama 3 hari, 7 hari, dan 28 hari berdistribusi normal multivariat. Berikut ini merupakan uji hipotesis dari pengujian residual normal multivariat.

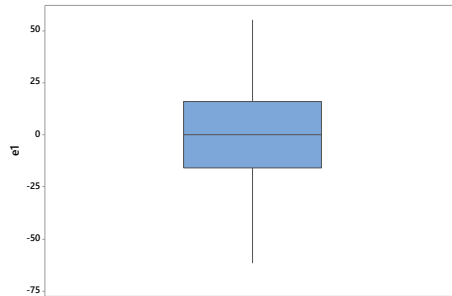
$H_0$ : Residual tahap I berdistribusi normal multivariat.

$H_1$ : Residual tahap I tidak berdistribusi normal multivariat.

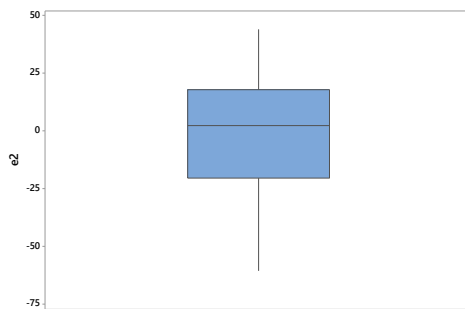
Berdasarkan hasil pengujian dengan menggunakan *macro minitab* menghasilkan nilai t sebesar 0,471264. Nilai ini berada di sekitar 50% maka keputusan yang diambil adalah residual dari karakteristik kualitas kuat tekan berdistribusi normal multivariat.

#### **c. Uji Residual Independen**

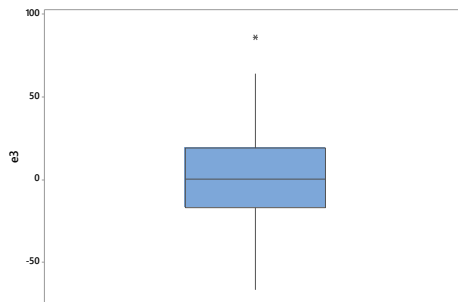
Uji asumsi residual digunakan untuk mengetahui apakah antara residual terdapat korelasi. Dengan menggunakan plot *macf* pada ketiga residual terdapat lag yang keluar batas yaitu lag 1, 2, dan 8 pada residual 1, lag 1 pada residual 2, dan lag 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10 pada residual 3. Artinya pada ketiga residual terjadi *autocorrelation* atau terjadi korelasi dengan dirinya sendiri. Pada pengujian secara multivariat, asumsi residual independen yang harus dipenuhi jika tidak terdapat *cross correlation*. Pada kasus ketiga residual ini, asumsi residual independen tidak terpenuhi karena terdapat *autocorrelation* sehingga perlu dilakukan deteksi *outlier* untuk mengetahui apakah didalam data residual terdapat *outlier*. Berikut ini merupakan *boxplot* untuk masing-masing residual.



**Gambar 4.1** *Boxplot* Residual 1 Fase Satu



**Gambar 4.2** *Boxplot* Residual 2 Fase Satu



**Gambar 4.3** *Boxplot* Residual 3 Fase Satu

Berdasarkan Gambar 4.1 , Gambar 4.2 , dan Gambar 4.3 *boxplot* dari ketiga residual . Pada residual 1 dan 2 tidak terjadi *outlier* namun pada residual 3 terdapat satu data residual yang

terjadi *outlier*. Hal tersebut mengindikasikan bahwa penyebab asumsi residual independen tidak terpenuhi adalah adanya data *outlier*. Oleh karena itu, langkah selanjutnya akan dilakukan pengendalian kualitas dengan menggunakan diagram kontrol MEWMV dan MEWMA agar penyebab *outlier* dapat diketahui.

#### 4.4.2 Model Regresi Fase 2 Periode Juli 2014-Desember 2014

Sama seperti analisis pada fase satu, untuk di fase dua juga dilakukan analisis dengan menggunakan regresi multivariat dengan mengestimasi parameter yang bertujuan untuk mendapatkan model. Berikut ini merupakan model regresi multivariat yang diperoleh.

$$Y_1 = \beta_0 + \beta_1 x_i$$

$$Y_2 = \beta_0 + \beta_1 x_i \text{ dengan } i = 1, 2, \dots, n$$

**Tabel 4.3** Estimasi Parameter Model Regresi Multivariat Fase 2

Variabel	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$
<b>Y1</b>	50,1	0,102	-4,98	2,026
<b>Y2</b>	134,8	0,069	-4,61	1,693
<b>Y3</b>	10,1	-0,052	-2,80	4,107

Berdasarkan Tabel 4.3 telah didapatkan model regresi pada masing-masing variabel respon. Pada variabel prediktor *blaine*, *insoluble*, dan *mesh* menghasilkan semen yang akan diuji kuat tekan selama 3 hari ( $y_1$ ), kuat tekan selama 7 hari ( $y_2$ ), dan kuat tekan selama 28 hari ( $y_3$ ). Berikut merupakan model yang terbentuk dari masing-masing variabel respon.

$$\hat{y}_1 = 50,1 + 0,102 x_1 - 4,98 x_2 + 2,026 x_3 \text{ dengan nilai } R^2 = 18,23\%$$

$$\hat{y}_2 = 134,8 + 0,069 x_1 - 4,61 x_2 + 1,693 x_3 \text{ dengan nilai } R^2 = 12,93\%$$

$$\hat{y}_3 = 10,1 - 0,052 x_1 - 2,80 x_2 + 4,107 x_3 \text{ dengan nilai } R^2 = 23,94\%$$

Berdasarkan analisis regresi multivariat, telah didapatkan model regresi multivariat untuk kuat tekan yang diukur dari faktor *blaine*, *insoluble*, dan *mesh*. Pada penambahan satu unit *blaine* dan *mesh* akan meningkatkan kuat tekan selama tiga hari sebesar 0,102

dan 2,026 dengan nilai *insoluble* tetap. Oleh karena itu, secara teori benar apabila semakin tinggi nilai *blaine* dan *mesh* akan menyebabkan semakin tinggi pula tingkat kehalusan semen maka berpengaruh juga pada peningkatan kuat tekan. Namun, lain halnya dengan penambahan satu unit *insoluble* dengan nilai *blaine* dan *mesh* tetap akan menurunkan kuat tekan tiga hari sebesar 4,98. Pada kuat tekan selama 7 hari juga berlaku hal yang sama seperti kuat tekan selama 3 hari apabila penambahan variabel *blaine* dan *mesh* akan meningkatkan kuat tekan namun penambahan variabel *insoluble* akan menurunkan kuat tekan selama 7 hari. Berbeda dengan kuat tekan selama 3 dan 7 hari, pada kuat tekan selama 28 hari dapat disimpulkan bahwa penambahan satu unit variabel *mesh* akan meningkatkan kuat tekan sebesar 4,107 sedangkan pada variabel *blaine* dan *insoluble* akan menurunkan kuat tekan sebesar 0,052 dan 2,80.

#### a. Uji Residual Identik

Setelah didapatkan data residual, akan dilakukan pengujian asumsi residual identik yang berguna untuk mengetahui apakah matriks varian kovarian dari residual hasil analisis regresi multivariat antara variabel kuat tekan 3 hari, 7 hari, dan 28 hari telah bersifat identik (homogen). Berikut ini merupakan uji hipotesis pada pengujian homogenitas dengan uji Box's M.

$$H_0 : \sum_1 = \sum_2 = \sum_3$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \sum_i \neq \sum_m \text{ untuk } i \neq m$$

Berdasarkan pengujian dengan menggunakan tingkat signifikansi 5%, maka matriks varians kovarians dapat dinyatakan identik apabila nilai *p-value* > 0,05. Dan pada hasil pengujian didapatkan nilai signifikansi sebesar 0,181 > 0,05 maka dapat disimpulkan apabila matriks varians kovarians dari data residual hasil analisis regresi multivariat fase 2 tersebut identik.

#### b. Uji Residual Berdistribusi Normal Multivariat

Uji asumsi residual berdistribusi normal bertujuan untuk mengetahui apakah variabel Kuat tekan selama 3 hari, 7 hari, dan

28 hari berdistribusi normal multivariat. Berikut ini merupakan uji hipotesis dari pengujian residual normal multivariat.

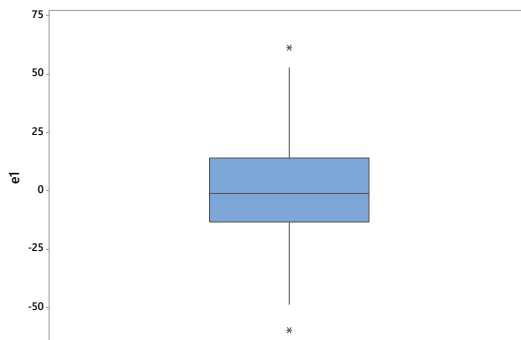
$H_0$ : Residual tahap I berdistribusi normal multivariat.

$H_1$ : Residual tahap I tidak berdistribusi normal multivariat.

Berdasarkan hasil pengujian dengan menggunakan *macro minitab* menghasilkan nilai t sebesar 0,484848. Nilai ini berada di sekitar 50% maka keputusan yang diambil adalah residual dari karakteristik kualitas kuat tekan berdistribusi normal multivariat.

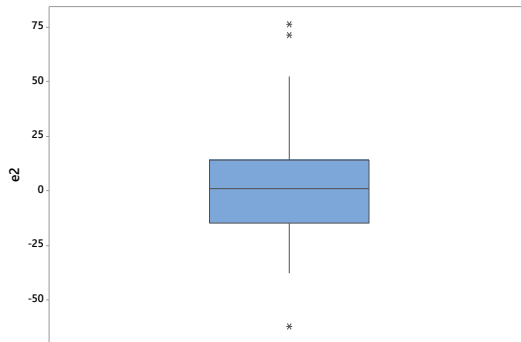
### c. Uji Residual Independen

Pengujian asumsi residual digunakan untuk mengetahui apakah antara residual terdapat korelasi. Dengan menggunakan plot *macf* pada ketiga residual terdapat lag yang keluar batas yaitu lag 1 dan 9 pada residual 1 dan lag 1 pada residual 2. Artinya pada kedua residual terjadi *autocorrelation* atau terjadi korelasi dengan dirinya sendiri. Pada pengujian secara multivariat, asumsi residual independen yang harus dipenuhi jika tidak terdapat *cross correlation*. Pada kasus ketiga residual ini, asumsi residual independen tidak terpenuhi karena terdapat *autocorrelation* sehingga perlu dilakukan deteksi *outlier* untuk mengetahui apakah didalam data residual terdapat *outlier*. Berikut ini merupakan *boxplot* untuk masing-masing residual.

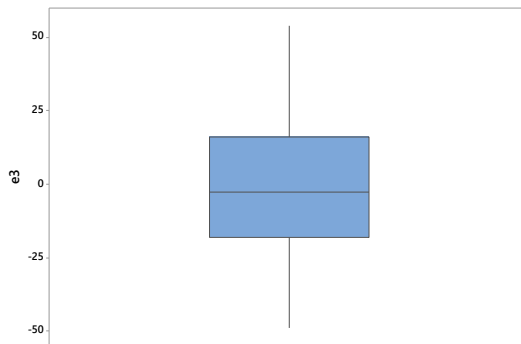


**Gambar 4.4** *Boxplot* Residual 1 Fase Dua





**Gambar 4.5** *Boxplot* Residual 2 Fase Dua



**Gambar 4.6** *Boxplot* Residual 3 Fase Dua

Gambar 4.4 , Gambar 4.5 , dan Gambar 4.6 merupakan *boxplot* untuk ketiga residual . Pada residual 1 terdapat dua data residual yang terjadi *outlier*, pada residual 2 terdapat tiga data residual yang terjadi *outlier*. Namun pada residual 3 tidak terjadi *outlier*.. Hal tersebut mengindikasikan bahwa penyebab asumsi residual independen tidak terpenuhi adalah adanya data *outlier*. Oleh karena itu, langkah selanjutnya akan dilakukan pengendalian kualitas dengan menggunakan diagram kontrol MEWMV dan MEWMA agar penyebab *outlier* dapat diketahui.

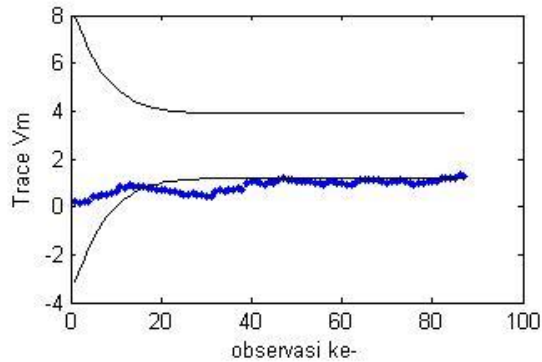
#### **4.5 Pengendalian Variabilitas Proses dan Rata-rata Proses Produksi Semen PPC pada Fase Satu**

Setelah dilakukan pengujian asumsi residual, tahapan selanjutnya adalah mengendalikan variabilitas proses dan rata-rata proses pada fase satu dilakukan dengan menggunakan diagram kontrol MEWMV dan MEWMA. Dalam penerapan diagram kontrol fase satu digunakan untuk memilih pembobot optimum dalam mendeteksi pergeseran proses.

##### **4.5.1 Pengendalian Variabilitas Proses Fase Satu**

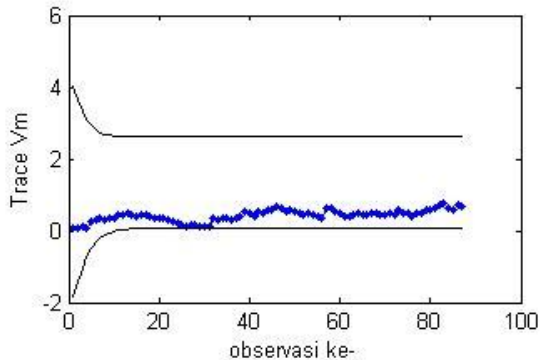
Untuk mengendalikan variabilitas proses fase satu dilakukan dengan menggunakan diagram kontrol MEWMV pada data residual. Dalam penelitian ini periode Januari 2014 sampai dengan Juni 2014 yang menjadi fase satu. Pengendalian variabilitas proses fase satu dilakukan untuk mendapatkan nilai pembobot yang optimal. Selanjutnya, pembobot yang telah optimal akan digunakan untuk monitoring proses pada fase dua.

Dalam penelitian ini digunakan nilai pembobot  $\omega$  dan  $\lambda$  masing-masing bernilai  $\leq 0,9$ . Menurut Huwang (2007) menyatakan bahwa nilai pembobot  $\omega$  dan  $\lambda$  masing-masing bernilai  $\leq 0,4$  akan memberikan hasil dalam pengendalian variabilitas proses lebih baik. Nilai pembobot paling kecil yang disarankan dalam diagram kontrol MEWMV adalah  $\omega = 0,1$  dan  $\lambda = 0,1$ . Berikut merupakan hasil plot  $tr(V_m)$  dari diagram kontrol MEWMV.



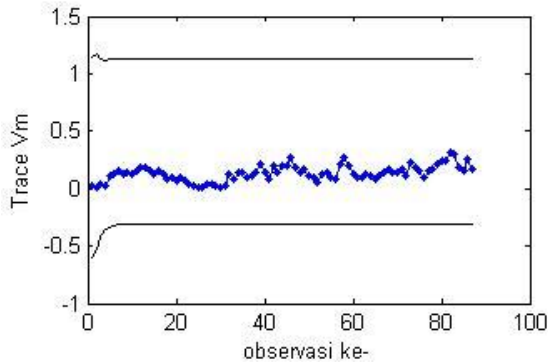
**Gambar 4.7** Diagram Kontrol MEWMV Fase Satu dengan  $\omega = 0,1$  dan  $\lambda = 0,1$

Gambar 4.7 menunjukkan plot dari  $\text{tr}(V_m)$  untuk masing-masing observasi dengan nilai batas kendali yang berbeda-beda. Nilai batas kendali dipengaruhi oleh nilai  $L$  yang bergantung pada nilai pembobot  $\omega = 0,1$  dan  $\lambda = 0,1$  sebesar 2,79 sehingga didapatkan nilai batas kendali atas sebesar 7,9656 dan batas kendali bawah sebesar -3,1056. Nilai batas kendali bawah yang bernilai negatif dianggap bernilai nol karena nilai positif paling minimum. Berdasarkan nilai pembobot tersebut, terdapat 68 observasi yang keluar dari batas kendali bawah. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa proses tidak terkendali secara statistik.



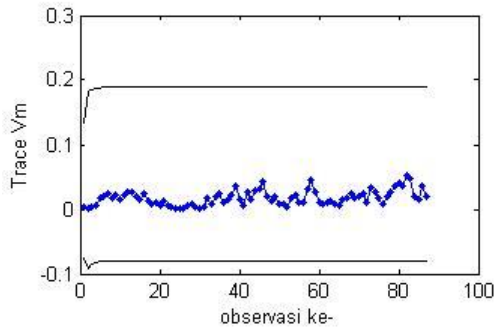
**Gambar 4.8** Diagram Kontrol MEWMV Fase Satu dengan  $\omega = 0,2$  dan  $\lambda = 0,4$

Nilai pembobot  $\omega = 0,2$  dan  $\lambda = 0,4$  dengan nilai  $L$  sebesar 3,3213 didapatkan nilai batas kendali atas maksimum sebesar 4,0088 dan batas kendali bawah sebesar -1,8488 yang ditunjukkan dari plot  $tr(V_m)$  seperti Gambar 4.8. Berdasarkan nilai pembobot tersebut, tidak terdapat yang keluar dari batas kendali bawah meskipun dalam visualisasi plot terlihat berimpit dengan batas kendali bawah. Dari hasil diagram kontrol MEWMV, dapat disimpulkan bahwa pengendalian variabilitas dengan menggunakan pembobot  $\omega = 0,2$  dan  $\lambda = 0,4$  lebih stabil dibandingkan sebelumnya.



**Gambar 4.9** Diagram Kendali MEWMV Fase Satu dengan  $\omega = 0,4$  dan  $\lambda = 0,7$

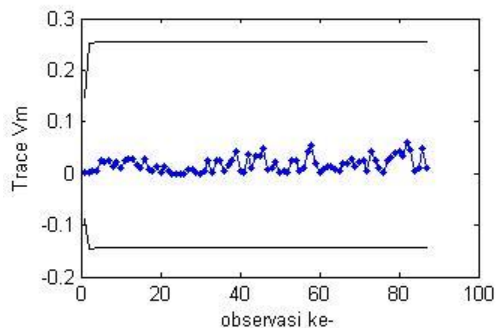
Hasil pengendalian variabilitas dengan nilai pembobot  $\omega = 0,4$  dan  $\lambda = 0,7$  serta nilai  $L$  yang diperoleh sebesar 4,2088 diperoleh nilai batas kendali atas sebesar 1,1717 dan batas kendali bawah -0,6006. Nilai batas kendali bawah yang bernilai negatif dianggap bernilai nol. Pada diagram kendali MEWMV dengan nilai pembobot tersebut, tidak terdapat observasi yang diluar batas kendali artinya proses telah stabil. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa proses terkendali secara statistik.



**Gambar 4.10** Diagram Kendali MEWMV Fase Satu dengan  $\omega = 0,6$  dan  $\lambda = 0,9$

Pada Gambar 4.10 diperoleh batas kendali yang dipengaruhi oleh nilai  $L$  sebesar 4,5975 dengan nilai pembobot  $\omega = 0,6$  dan  $\lambda = 0,9$  yaitu sebesar 0,1888 untuk batas kendali atas dan -0,0930 merupakan batas kendali bawah. Berdasarkan nilai pembobot tersebut, tidak terdapat observasi yang berada diluar batas kendali sehingga dapat disimpulkan bahwa proses telah terkendali secara statistik.

Nilai pembobot  $\omega = 0,9$  dan  $\lambda = 0,9$  dengan nilai  $L$  sebesar 4,8475 diperoleh batas kendali atas dan batas kendali bawah pada diagram kendali MEWMV yang disajikan pada Gambar 4.11 secara berturut-turut adalah 0,2537 dan -0,1472. Berdasarkan nilai pembobot tersebut, tidak terdapat observasi yang diluar batas kendali dan proses yang terjadi telah stabil.



**Gambar 4.11** Diagram Kendali MEWMV Fase Satu dengan  $\omega = 0,9$  dan  $\lambda = 0,9$

Selisih yang paling minimum dari  $|\max \text{tr}(\mathbf{V}_n) - \text{BKA}|$  merupakan pembobot terbaik untuk mendeteksi adanya data *out of control* yang menunjukkan error paling kecil. Semakin kecil selisihnya, maka kemungkinan suatu titik jatuh berada di luar batas kendali padahal tidak ada *assignable causes* akan lebih kecil, begitu pula sebaliknya. Selain itu, pemilihan pembobot juga didasarkan pada nilai batas kendali yang semakin sempit. Hal ini dikarenakan semakin sempit batas kendali, kemungkinan suatu proses yang seharusnya tidak terkendali namun diidentifikasi sebagai proses yang terkendali akan semakin kecil. Berikut adalah hasil perhitungan untuk menentukan pembobot yang paling optimum.

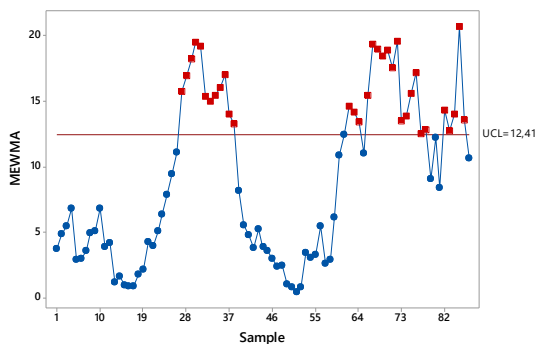
**Tabel 4.4** Hasil Perhitungan Nilai  $|\max \text{tr}(\mathbf{V}_n) - \text{BKA}|$  Untuk MEWMV

$\omega$	$\lambda$	Max tr(Vm)	UCL	Selisih
0,1	0,1	1,3153	7,9656	6,6503
0,1	0,5	0,4860	2,4634	1,9774
0,2	0,2	1,1781	7,1068	5,9287
0,2	0,4	4,0088	0,7450	3,2638
0,3	0,1	1,6303	9,6687	8,0384
0,3	0,6	0,4584	1,9260	1,4676
0,4	0,4	0,9119	4,5384	3,6265
0,4	0,7	0,3170	1,1717	0,8547
0,5	0,5	0,7539	3,2724	2,5185
0,5	0,8	0,1711	0,6208	0,4497
0,6	0,1	2,1779	10,8778	8,6999
<b>0,6</b>	<b>0,9</b>	<b>0,0518</b>	<b>0,1888</b>	<b>0,1370</b>
0,7	0,2	1,8885	8,7859	6,8974
0,7	0,8	0,1898	0,7502	0,5604
0,8	0,7	0,3956	1,6817	1,2861
0,9	0,9	0,0594	0,2394	0,1800

Berdasarkan Tabel 4.4 dapat dilihat pada pengendalian variabilitas proses menggunakan pembobot  $\omega = 0,6$  dan  $\lambda = 0,9$  yang ditunjukkan oleh Gambar 4.10 dapat disimpulkan bahwa proses terkendali secara statistik. Tidak terdapat observasi yang berada di luar batas kendali sehingga kebaikan proses produksi dapat dinilai ketika proses mulai stabil. Pembobot paling optimum yang dihasilkan pada fase satu kemudian digunakan untuk mengendalikan variabilitas proses pada fase dua yang berlangsung pada periode bulan Juli 2014 sampai dengan Desember 2014.

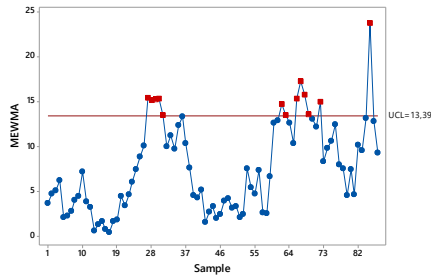
#### 4.5.2 Pengendalian Rata-rata Proses Fase Satu

Untuk mengendalikan rata-rata proses pada fase satu dilakukan dengan menggunakan diagram kontrol MEWMA. Dalam fase satu digunakan data produksi semen PPC periode Januari 2014 sampai dengan Juni 2014 untuk mendapatkan pembobot optimal. Pembobot disimbolkan dengan  $\lambda$ , dimana nilai  $\lambda$  yang digunakan yaitu 0,1 sampai dengan 0,9. Seperti diagram kontrol MEWMV yang memilih pembobot paling optimal pada fase satu, dalam diagram kontrol MEWMA juga berlaku demikian. Sehingga pada pengendalian rata-rata proses fase satu ini akan didapatkan nilai pembobot yang optimal untuk digunakan sebagai pembobot di fase dua.



**Gambar 4.12** Diagram Kendali MEWMA Fase Satu dengan  $\lambda = 0,1$

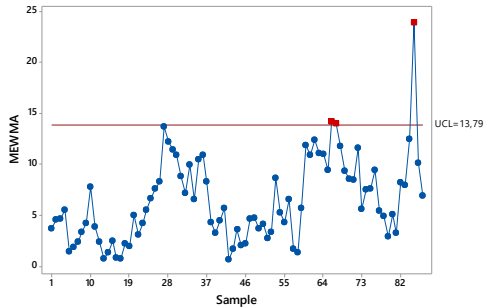
Hasil analisis pengendalian rata-rata proses dengan  $\lambda = 0,1$  didapatkan nilai batas kendali atas ( $h_4$ ) sebesar 12,41. Pada Gambar 4.12 terlihat ada 32 pengamatan yang keluar dari batas kendali atas, sehingga menyebabkan rata-rata proses dapat dikatakan tidak terkendali secara statistik dan karena grafik bergerak secara fluktuatif maka dapat disimpulkan jika proses yang terjadi tidak stabil.



**Gambar 4.13** Diagram Kendali MEWMA Fase Satu dengan  $\lambda = 0,2$

Selanjutnya dilakukan pula mengendalikan rata-rata proses menggunakan MEWMA dengan nilai pembobot yang berbeda dari sebelumnya, yaitu  $\lambda = 0,2$ . Titik pengamatan ( $T_i^2$ ) maksimum yang terjadi yaitu 23,72 pada pengamatan ke 85. Dengan menggunakan nilai pembobot yang lebih besar, berpengaruh terhadap pengamatan yang keluar dari batas kendali menjadi lebih sedikit dari sebelumnya yakni sebanyak 13 pengamatan dengan nilai batas kendali atas sebesar 13,39. Namun, karena masih banyak nilai pengamatan yang keluar dari batas kendali maka dilakukan secara berulang dengan nilai pembobot yang berbeda sampai didapatkan hasil yang paling optimal. Pada nilai pembobot sebesar 0,2 dapat disimpulkan bahwa rata-rata proses tidak terkendali secara statistik dan proses masih tidak stabil.

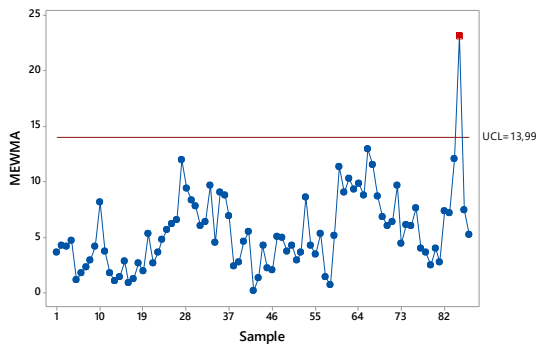




**Gambar 4.14** Diagram Kendali MEWMA Fase Satu dengan  $\lambda = 0,3$

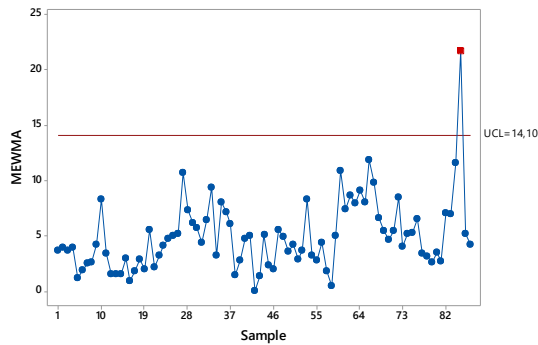
Grafik bergerak secara fluktuatif yang menunjukkan bahwa pengendalian rata-rata proses dengan pembobot ini terlihat lebih stabil dibandingkan dengan kedua pembobot yang digunakan sebelumnya. Namun, masih ada pengamatan yang keluar dari batas kendali atas ( $h_4$ ) yaitu sebanyak 3 pengamatan. Hal ini berarti bahwa rata-rata proses produksi semen PPC pada *finish mill* 7 tidak terkendali secara statistik dengan nilai batas kendali atas ( $h_4$ ) yang dihasilkan sebesar 13,79 dan titik pengamatan tertinggi sebesar 23,90. Jika dibandingkan dengan dua diagram kendali sebelumnya, batas kendali untuk pembobot ini lebih lebar.

Pengendalian kualitas juga dilakukan untuk pembobot sebesar 0,4. Berikut ini merupakan diagram kendali MEWMA untuk pembobot tersebut.

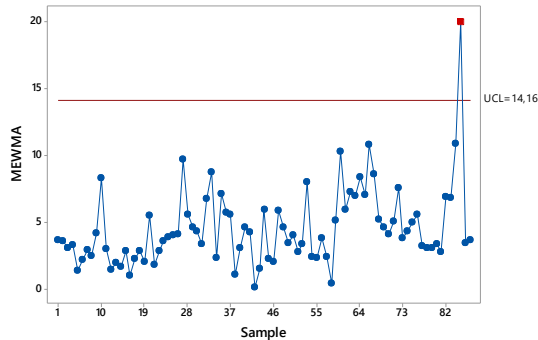


**Gambar 4.15** Diagram Kendali MEWMA Fase Satu dengan  $\lambda = 0,4$

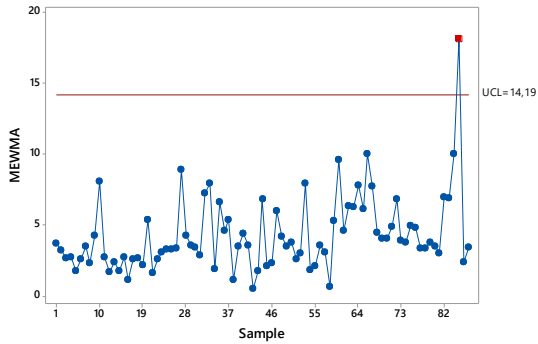
Gambar 4.15 menunjukkan hasil rata-rata proses menggunakan diagram kendali MEWMA dengan menggunakan  $\lambda = 0,4$  didapatkan nilai batas kendali atas sebesar 13,99. Titik pengamatan yang keluar batas kendali sebanyak 1 pengamatan sehingga menyebabkan rata-rata proses tidak terkendali secara statistik. Nilai pengamatan yang keluar batas kendali lebih sedikit dibandingkan dengan pembobot sebelumnya.



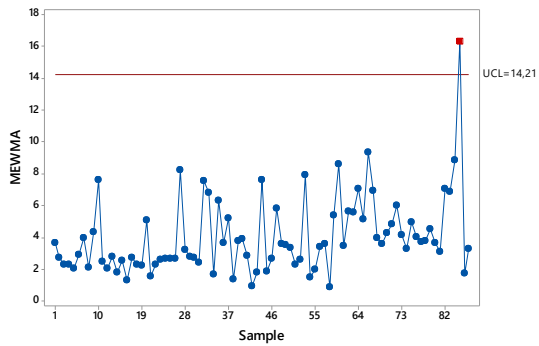
**Gambar 4.16** Diagram Kendali MEWMA Fase Satu dengan  $\lambda = 0,5$



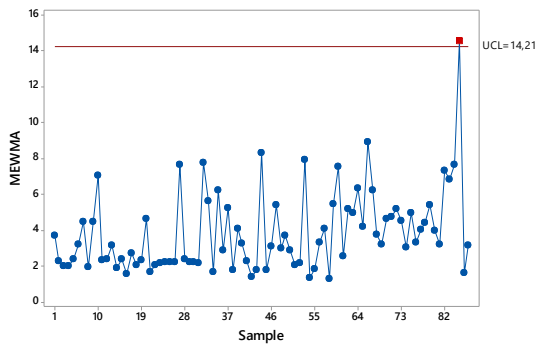
**Gambar 4.17** Diagram Kendali MEWMA Fase Satu dengan  $\lambda = 0,6$



**Gambar 4.18** Diagram Kendali MEWMA Fase Satu dengan  $\lambda = 0,7$



**Gambar 4.19** Diagram Kendali MEWMA Fase Satu dengan  $\lambda = 0,8$



**Gambar 4.20** Diagram Kendali MEWMA Fase Satu dengan  $\lambda = 0,9$

Pengendalian rata-rata proses selanjutnya dilakukan untuk pembobot sebesar 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, dan 0,9. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.16, 4.17, 4.18, 4.19, dan 4.20. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan dengan pembobot tersebut terdapat 1 pengamatan yang keluar dari batas kendali atas seperti pada pembobot yang sebelumnya yaitu 0,4. Perbedaannya hanya pada nilai batas atas di masing-masing pembobot. Semakin lebar batas kendali untuk pembobot ini menyebabkan peluang suatu titik jatuh di luar batas kendali semakin kecil. Jika melihat nilai batas kendali atas untuk masing-masing pembobot sebelumnya, pembobot yang semakin tinggi akan menghasilkan nilai batas kendali atas yang juga semakin tinggi. Namun belum tentu titik pengamatan tertinggi juga akan semakin tinggi atau sebaliknya semakin rendah. Titik pengamatan pada nilai pembobot 0,5 sebesar 21,75 , untuk nilai pembobot 0,6 sebesar 20,02 , untuk nilai pembobot 0,7 sebesar 18,15, untuk nilai pembobot 0,8 sebesar 16,31, dan untuk nilai pembobot 0,9 sebesar 14,57. Berdasarkan pengendalian rata-rata proses dengan sembilan nilai pembobot masih didapatkan pengamatan yang keluar dari batas kendali sehingga dapat disimpulkan bahwa proses tidak terkendali secara statistik. Meskipun hasil pengendalian menggunakan pembobot ini tidak terkendali, namun jika dilihat secara visual proses lebih stabil.

Pengendalian menggunakan diagram kendali MEWMA terhadap rata-rata proses dengan nilai pembobot sebesar 0,9 disajikan pada Gambar 4.20. Pada Gambar 4.20 yang menunjukkan hasil pengendalian rata-rata proses dengan pembobot 0,9, terlihat ada 8 data yang berada di luar batas kendali atas seperti pada nilai pembobot 0,7 dan 0,8. Nilai batas kendali atas untuk pembobot 0,9 adalah 14,21. Jika melihat nilai batas kendali atas untuk masing-masing pembobot sebelumnya, pembobot yang semakin tinggi akan menghasilkan nilai batas kendali atas yang juga semakin tinggi. Namun belum tentu titik pengamatan tertinggi juga akan semakin tinggi atau sebaliknya semakin rendah. Dengan adanya 1 pengamatan yang berada di luar batas kendali atas, dapat

disimpulkan bahwa rata-rata proses produksi semen PPC *finish mill 7* tidak terkendali secara statistik.

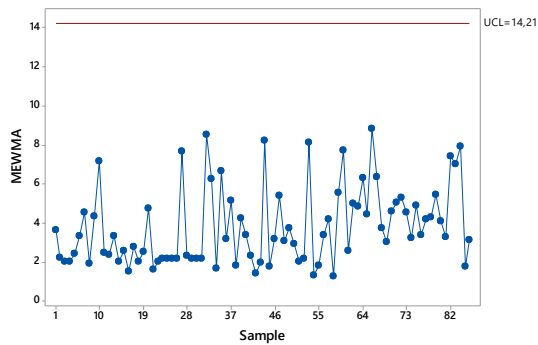
Berdasarkan Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa pembobot optimum yang digunakan sebesar 0,9 karena nilai selisih yang terjadi paling kecil antara nilai maksimal pengamatan dan *upper control limit* (UCL). Dengan pembobot yang optimal dianggap paling sensitif untuk mengendalikan rata-rata proses dengan menggunakan diagram kontrol MEWMA.

**Tabel 4.5** Selisih Titik Pengamatan dengan UCL

$\lambda$	Titik Maksimal	UCL	Selisih
<b>0,1</b>	20,70	12,41	8,29
<b>0,2</b>	23,72	13,39	10,33
<b>0,3</b>	23,90	13,79	10,22
<b>0,4</b>	23,12	13,99	9,13
<b>0,5</b>	21,75	14,10	7,65
<b>0,6</b>	20,02	14,16	5,86
<b>0,7</b>	18,15	14,19	3,96
<b>0,8</b>	16,31	14,21	2,10
<b>0,9</b>	14,57	14,21	0,36

Pembobot optimal yang dihasilkan pada pengendalian rata-rata proses produksi semen PPC sebesar 0,9 dengan menggunakan diagram kontrol MEWMA. Oleh karena itu, nilai pembobot 0,9 digunakan untuk mengendalikan rata-rata proses di fase dua.

Untuk nilai pembobot 0,9 dapat dilihat pada Gambar 4.20 bahwa masih terdapat 1 pengamatan yang berada di luar batas kendali yaitu pengamatan ke 85. Titik yang keluar dari batas kendali harus dicari penyebabnya terlebih dahulu. Selanjutnya, titik *out of control* tersebut dapat dibuang, sehingga didapatkan seperti Gambar 4.21 tidak terdapat titik yang berada di luar batas kendali.



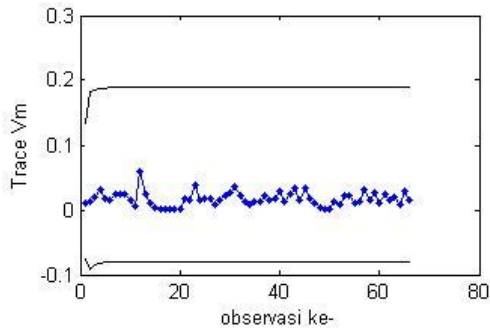
**Gambar 4.21** Diagram Kendali MEWMA Fase Satu Perbaikan dengan  $\lambda = 0,9$

#### 4.6 Pengendalian Variabilitas Proses dan Rata-rata Proses Produksi Semen PPC pada Fase Dua

Setelah pengendalian pada fase satu selesai, dilakukan pengendalian variabilitas dan rata-rata proses pada fase satu yang bertujuan untuk memonitoring proses produksi pada periode selanjutnya yaitu Juli 2014 sampai dengan Desember 2014. Nilai pembobot yang digunakan pada fase dua adalah nilai pembobot pada fase satu yang optimum.

##### 4.6.1 Pengendalian Variabilitas Proses Fase Dua

Setelah dilakukan pengendalian variabilitas pada fase satu, didapatkan nilai pembobot optimal pembobot  $\omega = 0,6$  dan  $\lambda = 0,9$  yang akan digunakan untuk mengendalikan variabilitas pada fase dua sebagai berikut.

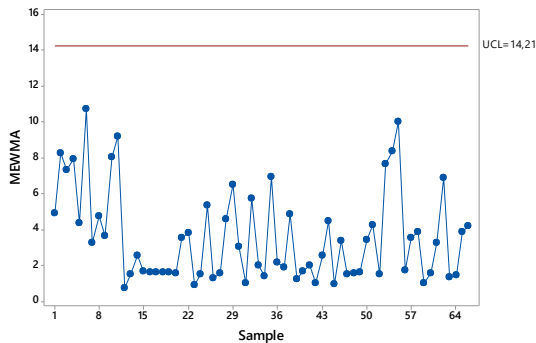


**Gambar 4.22** Diagram Kendali MEWMV Fase Dua

Nilai pembobot  $\omega = 0,6$  dan  $\lambda = 0,9$  dengan nilai  $L$  sebesar 4,2715 yang ditunjukkan seperti Gambar 4.22 dapat disimpulkan bahwa pengendalian variabilitas proses untuk fase dua terkendali secara statistik, plot  $Tr(V_n)$  karena tidak adanya titik yang berada di luar batas kendali dan proses telah stabil.

#### 4.6.2 Pengendalian Rata-rata Proses Fase Dua

Pada fase satu telah didapatkan pembobot optimum yakni  $\lambda = 0,9$  yang akan digunakan untuk mengendalikan rata-rata proses di fase dua. Berikut ini telah disajikan diagram kontrol MEWMA pada fase dua dengan menggunakan nilai pembobot sebesar 0,9.

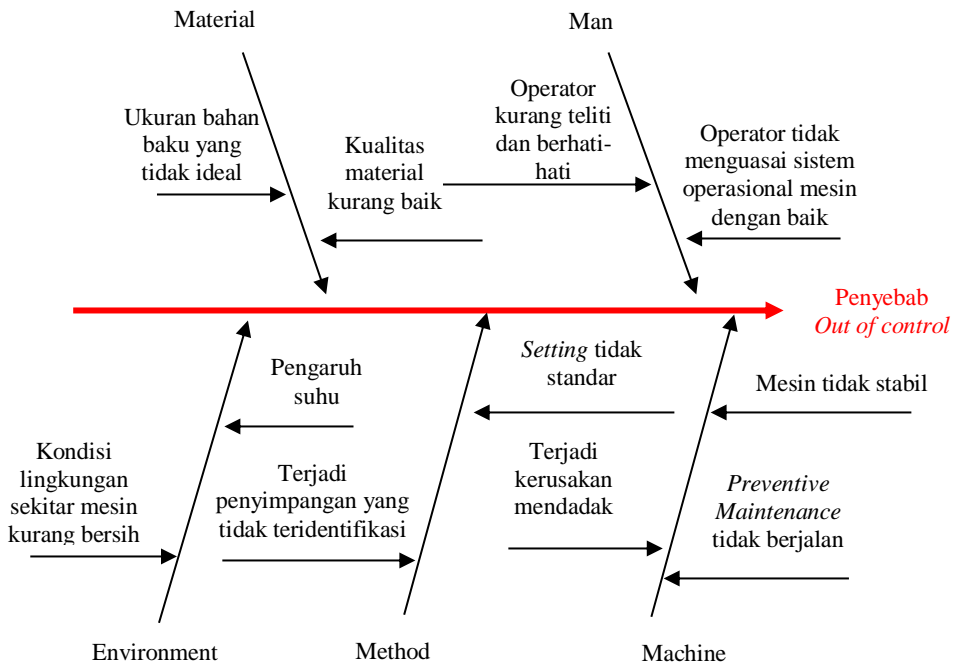


**Gambar 4.23** Diagram Kendali MEWMA Fase Dua dengan  $\lambda = 0,9$

Pada Gambar 4.23 menunjukkan hasil pengendalian proses menggunakan diagram kontrol MEWMA dengan nilai pembobot  $\lambda = 0,9$  didapatkan hasil pengamatan tidak terdapat pengamatan yang berada di luar batas kendali sehingga menyebabkan rata-rata proses telah terkendali secara statistik.

#### 4.7 Identifikasi Penyebab Proses Tidak Terkendali

Dengan nilai pembobot optimum yang telah digunakan untuk mendeteksi data *out of control* pada diagram MEWMA, hasil plot menunjukkan bahwa proses masih dalam kondisi tidak terkendali pada fase dua. Oleh karena itu, perlu dicari penyebab tidak terkendalnya proses produksi semen PPC dengan menggunakan diagram *ishikawa* seperti Gambar 4.16 sebagai berikut.



**Gambar 4.24** Diagram Ishikawa Penyebab *Out of Control*



Faktor yang menyebabkan suatu data observasi berada di luar batas kendali disajikan seperti Gambar 4.24 yaitu dengan lima faktor diantaranya faktor manusia, faktor bahan baku / material, faktor lingkungan, faktor metode, dan faktor mesin. Kesalahan terbesar selama proses produksi semen PPC di PT Semen Indonesia yaitu pada faktor mesin. Dalam proses produksi, mesin yang tidak stabil menyebabkan banyak data observasi yang berada di luar batas spesifikasi yang telah ditetapkan perusahaan sehingga mempengaruhi kandungan semen PPC. Selain itu, terjadi kerusakan secara mendadak pada mesin menyebabkan *finish mill* tidak beroperasi sehingga menghambat proses produksi semen PPC yang sedang berlangsung karena tidak berjalannya *preventive maintenance* dengan maksimal. Oleh karena itu, perawatan mesin sangat diperlukan untuk dapat memproduksi secara maksimal dan produk yang dihasilkan sesuai dengan target yang telah ditetapkan perusahaan.

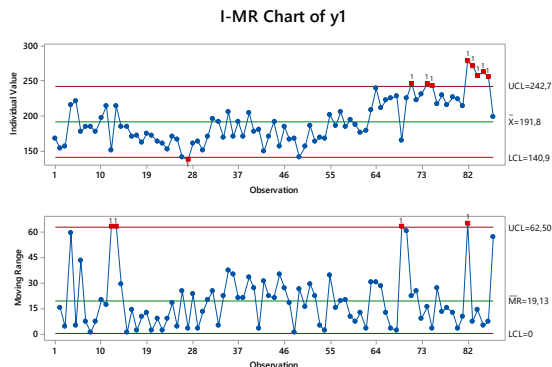
Tidak hanya faktor mesin, operator yang menjalankan mesin juga berpengaruh dalam proses produksi. Ketelitian operator sangat diperlukan untuk menunjang kinerja mesin dan operator seharusnya berhati-hati dalam menjalankan mesin produksi sehingga dapat meminimalkan kecelakaan kerja yang terjadi saat proses produksi semen PPC. Operator juga harus menguasai sistem operasional mesin dengan baik sehingga tidak terjadi kesalahan dalam mengoperasikannya karena akan berpengaruh terhadap kualitas semen PPC yang tidak optimal. Faktor penyebab lainnya, bisa ditimbulkan dari kesalahan pengukuran bahan baku produksi yang akan berdampak pada kandungan semen PPC karena campuran dari bahan baku tidak sesuai takaran atau tidak ideal. Kualitas dari bahan baku juga menjadi salah satu hal yang penting dalam mempengaruhi kualitas akhir semen PPC yang dihasilkan sehingga perlu diperhatikan pada tahapan penyiapan bahan baku semen.

Faktor lingkungan juga berpengaruh terhadap kualitas produk semen PPC diantaranya kebersihan dan suhu. Pengaruh suhu dan lingkungan sekitar mesin produksi yang kurang bersih

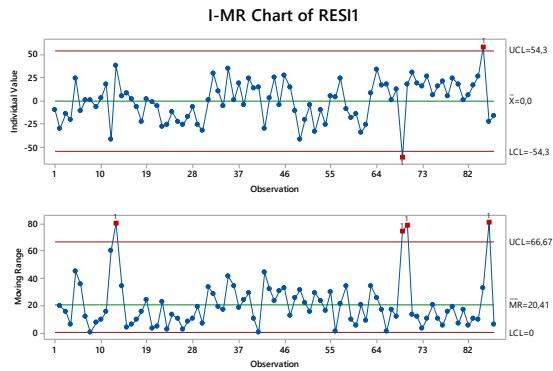
juga akan mempengaruhi kualitas produk semen yang dihasilkan. Oleh karena itu, sangat diperlukan menjaga kebersihan lingkungan sekitar mesin agar tidak berpengaruh terhadap kerusakan mesin. Selain empat faktor tersebut, faktor metode juga berpengaruh menjadi penyebab data observasi berada di luar batas kendali. Kesalahan yang sering terjadi yaitu disebabkan dari *setting* tidak berpatokan pada standar yang ditetapkan sehingga menyebabkan terjadinya penyimpangan yang tidak teridentifikasi. Oleh karena itu, perusahaan perlu melakukan perbaikan agar proses yang berjalan lebih baik sehingga menghasilkan kualitas semen yang mendekati nilai standar yang ditetapkan perusahaan.

#### 4.8 Peta Kendali *Individual Moving Range*

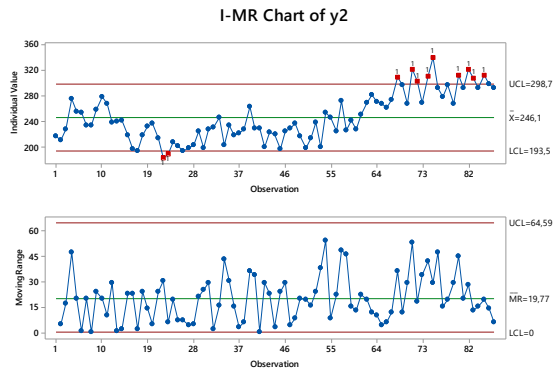
*Individual and moving range control chart* (I-MR) merupakan peta kendali variabel yang digunakan jika jumlah observasi dari masing-masing ukuran subgrup hanya berjumlah satu unit. Dalam praktik di lapangan, untuk memproduksi semen PPC digunakan teknologi pengukuran dan inspeksi otomatis dan setiap unit yang diproduksi dapat dianalisis sehingga peta kendali I-MR dapat digunakan dalam kasus ini.



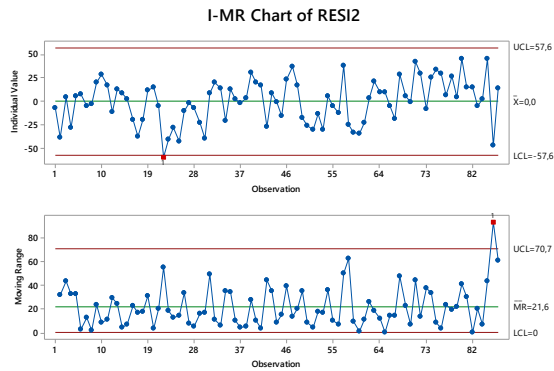
**Gambar 4.25** Diagram Kontrol I-MR Kuat Tekan selama 3 hari



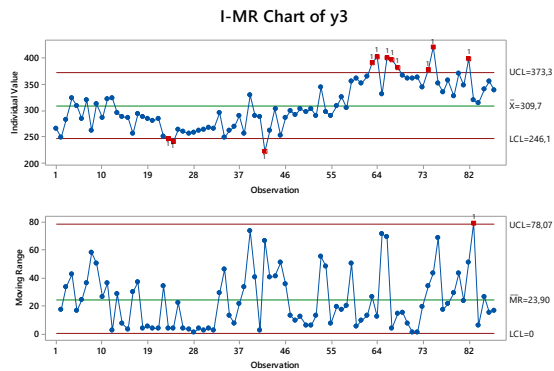
**Gambar 4.26** Diagram Kontrol I-MR Residual Kuat Tekan selama 3 hari



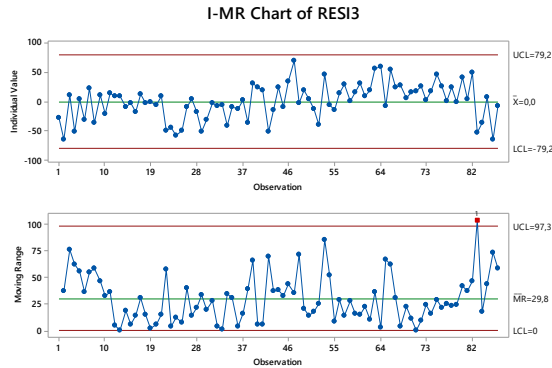
**Gambar 4.27** Diagram Kontrol I-MR Kuat Tekan selama 7 hari



**Gambar 4.28** Diagram Kontrol I-MR Residual Kuat Tekan selama 7 hari



**Gambar 4.29** Diagram Kontrol I-MR Kuat Tekan selama 28 hari



**Gambar 4.30** Diagram Kontrol I-MR Residual Kuat Tekan selama 28 hari

Berdasarkan Peta Kendali I-MR diatas dapat dilihat perbandingan dengan menggunakan data asli pada pengamatan di lapangan dan data residual yang didapatkan dari model regresi dapat disimpulkan apabila pada peta kendali individu kuat tekan selama 3 hari terdapat 8 titik yang keluar dari batas kendali sedangkan dengan data residual terdapat 2 titik yang keluar dari batas kendali. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa proses yang terjadi tidak terkendali secara statistik. Dari grafik peta kendali *Moving Range* dengan nilai *Upper Control Line* (UCL) pada data asli sebesar 62,5 terdapat 4 titik yang keluar dari batas kendali dan dengan data residual titik yang keluar juga sebanyak 4 titik. Pada kuat tekan 7 hari terdapat 11 titik yang keluar dari batas kendali dengan menggunakan peta kendali individu dengan data residual hanya 1 titik yang keluar dari batas kendali. Dengan menggunakan peta kendali *Moving Range* didapatkan semua data berada di dalam batas kendali untuk data asli sedangkan dengan data residual terdapat 1 titik pengamatan yang keluar dari batas kendali. Pada kuat tekan selama 28 hari dengan menggunakan data asli terdapat 11 titik pengamatan yang keluar dari batas kendali sedangkan dengan menggunakan data residual semua data berada di dalam batas kendali dengan menggunakan peta individu. Untuk peta kendali *Moving Range* didapatkan sebanyak 1 titik pengamatan yang keluar dari batas kendali dengan menggunakan data asli dan data residual. Oleh karena itu, dapat disimpulkan proses tidak terkendali secara statistik dengan menggunakan peta kendali univariat.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan Analisis dan pembahasan yang telah dilakukan pada Bab IV, maka dapat disimpulkan apabila masih terdapat kandungan dari karakteristik kualitas yang melebihi batas spesifikasi atas yang telah ditetapkan perusahaan sehingga menyebabkan terjadinya proses yang di luar batas kendali. Apabila kuat tekan melebihi batas yang ditentukan akan menyebabkan beton menjadi retak dan perusahaan akan mengalami kerugian dalam hal biaya karena bahan baku yang digunakan menjadi lebih banyak sehingga diperlukan proses yang stabil. Proses produksi semen PPC di PT. Semen Indonesia pada fase satu yaitu periode bulan Januari 2014 – Juni 2014 , variabilitas proses produksi dengan menggunakan diagram kontrol MEWMV telah terkendali secara statistik, juga pada mean proses dengan menggunakan diagram kontrol MEWMA telah terkendali secara statistik. Pembobot optimum untuk diagram MEWMV adalah  $\omega = 0,6$  dan  $\lambda = 0,9$ , sedangkan MEWMA dengan  $\lambda = 0,9$ . Penyebab terkendalinya proses produksi semen PPC berdasarkan lima faktor yaitu faktor manusia, faktor mesin, faktor material, faktor lingkungan, faktor metode. Kesalahan terbesar selama proses produksi semen PPC di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk yaitu pada faktor mesin karena dalam proses produksi masalah peralatan mesin yang rusak menyebabkan kinerja mesin yang tidak stabil sehingga menyebabkan *finish mill* tidak beroperasi secara optimal.

#### **5.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, dibagi menjadi dua yaitu untuk perusahaan dan untuk penelitian selanjutnya. Adapun saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Pihak PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk masih perlu untuk melakukan perbaikan proses pengendalian operasi.

Faktor penyebab tidak terkendalinya proses yang telah disampaikan pada analisis dan pembahasan perlu menjadi perhatian utama Seksi Jaminan Mutu PT Semen Indonesia (Persero) Tbk.

2. Untuk penelitian selanjutnya, apabila terdapat data yang *autocorrelation* sebaiknya menggunakan diagram kontrol kombinasi MEWMA. Penerapan diagram kontrol MEWMV dan MEWMA diharapkan dapat menjadi pertimbangan untuk pengendalian proses produksi semen PPC secara statistik selain hanya memperhatikan produk yang memenuhi batas spesifikasi yang ditentukan perusahaan.
3. Pemilihan variabel penelitian bisa dilakukan eksplorasi data terlebih dahulu untuk mengetahui variabel yang signifikan terhadap model sehingga menghasilkan model yang lebih baik. Untuk penelitian selanjutnya, bisa lebih dikembangkan metode yang tepat untuk memperoleh hasil yang optimal dalam mengendalikan proses yang terjadi pada produksi semen PPC.

## DAFTAR PUSTAKA

- Box. (1973). Dalam W. L. Hays, *Statistics for the Behavioral Sciences, 2nd edition*. New York: Holt, Rinehart, and Winston Inc.
- Damayanti, Y. (2011). *Analisis Pengendalian Kualitas Statistik Multivariat pada Proses Penggilingan Akhir PT. Semen Gresik*. Laporan Tugas Akhir Jurusan Statistika ITS : Surabaya.
- Smidth, F. L. (1996) . “Quality of Cement”, *International Cement Production Seminar*, lecturer 6.4.
- Hawkins, D.M. (1991). *Multivariate Quality Control Based on Regression-Adjusted Variables. Technometrics*, 33(1): 61-75.
- Huwang, L.; Yeh. Arthur B.; and Chien-Wei WU. (2007). *Monitoring Multivariate Process Variability for Individual Observations*. *Journal of Quality Technology*, 39. pp. 258- 278.
- Johnson, R. A. dan Wichern, D. W. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis, 6th Edition*. New Jersey: Person Prentice Hall
- Khoo, M.B.C. (2004). *Increasing the Sensitivity of Multivariate EWMA Control Chart*. *Journal of Quality Engineering*, vol.16, pp 75-85
- Kotler, P. and Keller K.L. (2009). *Marketing Management* (13 th ed.). United States of America: Pearson Education, Inc.
- Lowry, C.A., Woodall, W.H., Champ, C.W., dan Rigdon, S.E. (1992) . *A Multivariate Exponentially Weighted Moving Average Control Chart*. *Technometrics*, 34(1): 46-53.
- Martinaningtyas. (2014). *Pengendalian Kualitas Sistem Heat Recovery Steam Generator (HRSG) PLTGU di PT. PJB Unit Pembangkitan Gresik*. Laporan Tugas Akhir Jurusan Statistika ITS : Surabaya.



- Montgomery, D. C. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control* (6th ed.). New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Morrison, D. F. (1990). *Multivariate Statistical Methods* (3rd ed.). USA: McGraw-Hill, Inc.
- PT. Semen Indonesia. (2015) . m.semenindonesia.com diakses pada tanggal 7 September 2016
- Woodall, W. H. dan Ncube, M. M. (1985). *Multivariate CUSUM Quality Control Procedures. Technometrics. 27: 285-292.*

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama Anindya Cipta Putri yang biasa dipanggil Nindy lahir di Tuban, 2 Desember 1995. Penulis adalah anak pertama dari tiga bersaudara oleh pasangan Suami Istri Sucipto, S.T. dan Rumiwati. Pendidikan yang pernah ditempuh antara lain di TK Semen Gresik, SDN Kutorejo 1 Tuban (2002-2008), SMP Negeri 3 Tuban (2008-2011), dan SMA Negeri 1 Tuban (2011-2013). Dan setelah lulus penulis diterima di Jurusan Statistika ITS melalui jalur SNMPTN pada pilihan pertama dengan NRP 1313100041. Semasa kuliah, penulis aktif dalam kegiatan organisasi, kepanitiaan, pelatihan dan seminar. Organisasi kampus yang pernah diikuti yaitu sebagai Staff Sosial Masyarakat HIMASTA-ITS periode 2014-2015 dan sebagai Kabiro Pengabdian Masyarakat HIMASTA-ITS periode 2015-2016. Selain aktif di himpunan, penulis juga aktif di BEM ITS sebagai Manajer *Creative Fund Raising* (CFR) BSO-IECC ITS periode 2015-2016. Penulis juga aktif dalam kepanitiaan yang diadakan oleh BEM ITS seperti GERIGI ITS 2014 sebagai OC Acara dan GERIGI ITS 2015 sebagai Sekretaris IC, Panitia PRS sebagai *Sie Sponsorship*, Pengajar Tangguh 2 ITS Mengajar for Indonesia Tahun 2015, *Volunteer in Social Development* yang diadakan oleh SOSMAS BEM-ITS 2014-2015. Pengalaman pelatihan yang paling berkesan adalah *Training for Educators*. Segala kritik dan saran akan diterima oleh penulis untuk perbaikan kedepannya, pembaca dapat menghubungi melalui email [anindyacipta2002@gmail.com](mailto:anindyacipta2002@gmail.com).

**Lampiran A.** Data Kualitas Semen PPC Tuban 4 Mill 7 Fase  
Satu

<b>Observasi ke-</b>	<b><i>Blaine</i></b>	<b><i>Insoluble</i></b>	<b><i>Mesh</i></b>	<b>KT 3</b>	<b>KT 7</b>	<b>KT 28</b>
1	375	13,66	92,1	168	216	266
2	349	13,19	86,8	153	211	249
3	343	15,31	90,75	157	228	282
4	339	8,55	95,02	216	275	324
5	333	14,1	94,66	221	255	308
6	352	13,46	97,07	178	254	284
7	346	13,93	94,53	185	234	320
8	348	14,08	95,33	184	234	262
9	352	13,73	95,26	177	258	312
10	339	13,67	95,18	197	278	286
11	336	13,88	95,29	214	268	322
12	348	12,79	94,86	151	239	324
13	354	14,31	93,88	214	240	296
14	357	13,78	94,97	185	242	289
15	377	14,46	94,88	184	219	286
16	359	14,9	92,87	170	196	256
17	340	14,84	91,92	172	194	293
18	341	14,37	94,00	162	218	289
19	365	14,30	93,57	174	232	284
20	365	14,14	93,30	172	237	280
21	358	14,83	93,14	163	213	284
22	339	14,23	95,1	161	183	250
23	350	14,83	96,48	152	189	246
24	354	13,63	94,79	170	208	242

**Lampiran A. (lanjutan)**

<b>Observasi ke-</b>	<b><i>Blaine</i></b>	<b><i>Insoluble</i></b>	<b><i>Mesh</i></b>	<b>KT 3</b>	<b>KT 7</b>	<b>KT 28</b>
25	361	12,51	94,48	166	201	264
26	380	15,26	91,74	141	194	260
27	364	16,06	90,8	138	198	257
28	372	15,16	94,7	161	203	258
29	355	12,4	93,25	164	224	262
30	346	13,66	91,87	151	199	264
31	349	15,31	93,61	171	228	268
32	368	15,33	95	196	230	266
33	362	13,87	96,03	191	246	295
34	364	14,21	94,7	169	203	249
35	347	15,46	94,26	206	233	262
36	368	15,07	95,92	171	218	269
37	359	14,93	96,36	192	221	290
38	366	14,37	95,82	171	227	257
39	360	13,96	96	204	263	330
40	358	16,03	95,73	177	229	290
41	359	15,4	94,38	180	229	288
42	336	15,6	93,23	149	200	222
43	365	14,78	93,35	171	223	262
44	360	14,64	89,01	192	220	303
45	352	15,69	90,44	157	196	252
46	360	16,08	91,3	184	225	287
47	348	17,62	92,9	166	229	300
48	377	14,24	95	167	237	291
49	338	14,72	92,75	141	217	303
50	372	13,65	92,28	157	198	297
51	365	12,12	93,61	186	214	303

**Lampiran A. (lanjutan)**

<b>Observasi ke-</b>	<b><i>Blaine</i></b>	<b><i>Insoluble</i></b>	<b><i>Mesh</i></b>	<b>KT 3</b>	<b>KT 7</b>	<b>KT 28</b>
52	373	11,1	90,94	164	238	290
53	369	13,21	90,57	169	200	345
54	338	13,48	92,07	167	254	297
55	334	13,7	93,17	201	246	290
56	348	13,95	94,07	186	224	309
57	353	14,19	96	205	272	326
58	338	13,34	92,77	185	226	306
59	334	12,23	96,58	195	241	356
60	346	12,07	95,79	188	228	361
61	348	10,64	94,7	176	250	352
62	360	11,16	96,98	179	269	365
63	360	11,38	95,8	209	281	391
64	369	10,78	95,85	239	271	403
65	374	11,31	86,65	211	267	332
66	362	10,98	96,72	223	261	401
67	352	9,02	96,8	226	273	397
68	346	10,7	96,94	228	309	383
69	336	10,43	96,54	165	297	368
70	354	10,82	95,85	225	268	361
71	336	11,49	96	247	321	362
72	338	11,86	87	222	303	363
73	339	10,88	93,9	231	269	344
74	349	9,35	94,88	247	311	378
75	336	8,13	90,75	244	340	421
76	347	11,37	91,5	217	293	353
77	342	11,02	92,35	230	278	336
78	339	11,36	92,65	215	297	357

**Lampiran A. (lanjutan)**

<b>Observasi ke-</b>	<b>Blaine</b>	<b>Insoluble</b>	<b>Mesh</b>	<b>KT 3</b>	<b>KT 7</b>	<b>KT 28</b>
79	346	11,4	92,66	227	268	328
80	341	11,46	92,6	224	313	371
81	344	10,18	91,35	214	293	348
82	293	14,33	92,4	279	321	399
83	315	10,39	94,21	272	308	320
84	324	11,19	93,51	258	293	314
85	348	11	92,24	263	312	340
86	323	6,46	96,55	256	298	355
87	344	10,27	93,78	199	292	339

**Lampiran A. Data Kualitas Semen PPC Tuban 4 Mill 7 Fase Satu**

<b>Observasi Ke-</b>	<b>Blaine</b>	<b>Insoluble</b>	<b>Mesh</b>	<b>KT 3</b>	<b>KT 7</b>	<b>KT 28</b>
1	343	7,51	88,66	238	269	300
2	337	10,95	92,44	231	250	357
3	376	11,16	89,73	209	269	362
4	375	11,34	92,36	272	341	388
5	373	10,59	89,63	246	280	341
6	352	11,34	90,39	232	285	325
7	321	9,43	80,55	199	256	309
8	371	10,33	91,84	238	270	340
9	364	11,34	90,3	233	288	341
10	349	11,76	89,67	270	309	368
11	357	12,93	90,28	258	324	380
12	317	11,46	87	194	248	312
13	346	13,43	85,11	185	240	300

**Lampiran A. (lanjutan)**

<b>Observasi Ke-</b>	<b><i>Blaine</i></b>	<b><i>Insoluble</i></b>	<b><i>Mesh</i></b>	<b>KT 3</b>	<b>KT 7</b>	<b>KT 28</b>
14	328	12,8	83,24	177	240	287
15	357	13,11	84,31	176	228	292
16	353	14,31	84,13	176	215	277
17	357	15,09	83,2	167	212	288
18	352	13,66	83,61	178	218	289
19	353	14,48	88,35	172	244	292
20	343	8,68	91,64	179	236	305
21	333	14,69	90,3	208	257	325
22	345	14,55	88,76	208	266	352
23	362	14,08	90,74	196	233	296
24	337	14,71	88,64	184	239	288
25	349	15,22	89,65	200	253	314
26	353	15,05	89,12	172	211	267
27	329	14,4	92,45	181	231	310
28	326	14,88	91,42	211	245	332
29	355	11,73	90,93	207	273	330
30	346	15,07	91,59	205	260	362
31	362	14,25	91,07	199	235	304
32	331	14,8	92,28	212	247	319
33	368	13,46	91,14	208	257	324
34	362	14,05	92,22	198	237	309
35	329	14,48	92,17	201	265	314
36	371	13,43	90,01	208	247	306
37	369	14,23	91,37	216	265	340
38	365	14,99	98,61	223	266	322
39	393	14,14	91,66	200	221	302
40	355	15,03	88	203	253	327

**Lampiran A. (lanjutan)**

<b>Observasi Ke-</b>	<b><i>Blaine</i></b>	<b><i>Insoluble</i></b>	<b><i>Mesh</i></b>	<b>KT 3</b>	<b>KT 7</b>	<b>KT 28</b>
41	369	13,38	92,09	216	271	342
42	376	12,9	93,13	206	234	308
43	346	14,07	90,11	222	260	339
44	371	14,35	90,27	224	271	329
45	340	13,18	87,54	172	222	284
46	340	12,98	91,69	204	249	339
47	349	13,5	94,29	185	233	326
48	383	13,1	93,63	165	233	322
49	349	10,21	92,64	163	207	302
50	368	13,06	92,35	195	233	334
51	375	13,49	91,77	173	240	339
52	365	13,29	92,18	192	245	316
53	339	13	91,67	197	271	355
54	322	13,44	92,8	213	245	364
55	355	13	89,68	205	243	353
56	363	13,43	92,41	191	236	335
57	353	13,32	91,48	223	269	372
58	338	12,52	91,68	226	260	351
59	374	13,97	95,46	196	248	338
60	336	14,08	95,01	204	256	332
61	359	13,53	95,38	217	275	375
62	336	13,62	85,05	188	242	328
63	328	13,49	93,52	183	217	307
64	358	14,2	94,16	187	241	340
65	325	14,09	93,39	208	274	373
66	363	14,13	93,24	220	257	362



## Lampiran B. Pemeriksaan Dependensi Kuat Tekan

### Lampiran B.1 *Output Uji Korelasi Fase Satu*

#### KMO and Bartlett's Test

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		,718
Approx. Chi-Square		187,630
Bartlett's Test of Sphericity	df	3
Sig.		,000

### Lampiran B.2 *Output Uji Korelasi Fase Dua*

#### KMO and Bartlett's Test

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		,706
Approx. Chi-Square		139,690
Bartlett's Test of Sphericity	df	3
Sig.		,000

## Lampiran C. *Macro Minitab* Pemeriksaan Asumsi Distribusi Normal Multivariat

```
macro
  qq x.1-x.p
  mconstant i n p t chis
  mcolumn d x.1-x.p dd pi q ss tt
  mmatrix s sinv ma mb mc md
  let n=count(x.1)
  cova x.1-x.p s
  invert s sinv
  do i=1:p
```

```

let x.i=x.i-mean(x.i)
enddo
do i=1:n
  copy x.1-x.p ma;
  use i.
  transpose ma mb
  multiply ma sinv mc
  multiply mc mb md
  copy md tt
  let t=tt(1)
  let d(i)=t
enddo
set pi
  1:n
end
let pi=(pi-0.5)/n
sort d dd
invcdf pi q;
chis p.
plot q*dd
invcdf 0.5 chis;
chis p.
let ss=dd<chis
let t=sum(ss)/n
print t
if t>0.5
  note distribusi data multinormal
endif
if t<=0.5
  note distribusi data bukan multinormal
endif
endmacro

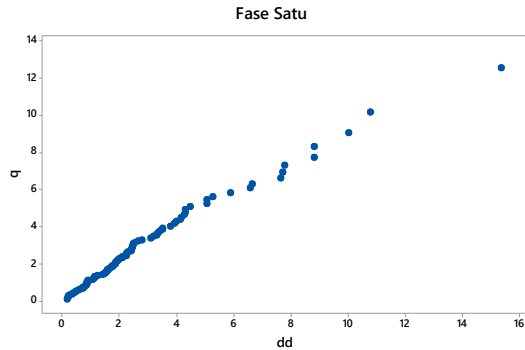
```

### **Lampiran C.1** *Output Uji Distribusi Normal Multivariat Fase Satu*

MTB > %E:\multinorm.txt c4 c5 c6  
 Executing from file: E:\multi.txt

### Data Display

t 0,551724  
distribusi data multinormal

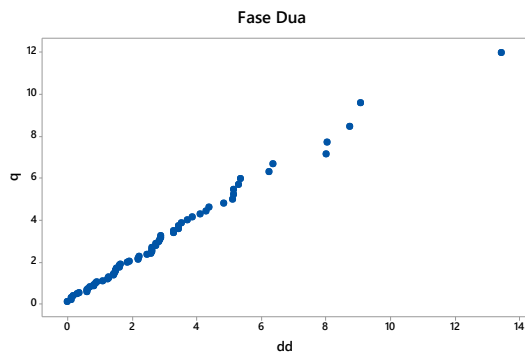


### Lampiran C.2 Output Uji Distribusi Normal Multivariat Fase Dua

MTB > %E:\multinorm.txt c10 c11 c12  
Executing from file: E:\multi.txt

### Data Display

t 0,484848  
distribusi data bukan multinormal



**Lampiran D. *Regression Adjusted* dengan Pendekatan Regresi Multivariat**

**Lampiran D.1 Output Model Regresi dan Residual pada Fase Satu**

**Variabel y1**

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	45449,8	15149,9	28,09	0,000
x1	1	9593,6	9593,6	17,79	0,000
x2	1	22215,6	22215,6	41,19	0,000
x3	1	280,9	280,9	0,52	0,473
Error	83	44769,0	539,4		
Total	86	90218,9			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
23,2247	50,38%	48,58%	43,39%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	485	121	4,00	0,000	
x1	-0,749	0,177	-4,22	0,000	1,09
x2	-8,11	1,26	-6,42	0,000	1,11
x3	0,80	1,11	0,72	0,473	1,01

Regression Equation

$$y1 = 485 - 0,749 \times x1 - 8,11 \times x2 + 0,80 \times x3$$

**Variabel y2**

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	72710	24236,6	41,52	0,000
x1	1	11336	11336,2	19,42	0,000

x2	1	41355	41354,8	70,84	0,000
x3	1	77	77,4	0,13	0,717
Error	83	48452	583,8		
Total	86	121162			

#### Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
24,1611	60,01%	58,57%	54,84%

#### Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	637	126	5,05	0,000	
x1	-0,814	0,185	-4,41	0,000	1,09
x2	-11,06	1,31	-8,42	0,000	1,11
x3	0,42	1,16	0,36	0,717	1,01

#### Regression Equation

$$y2 = 637 - 0,814 x1 - 11,06 x2 + 0,42 x3$$

### Variabel y3

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	95176	31725,2	32,62	0,000
x1	1	2719	2718,7	2,80	0,098
x2	1	72939	72938,7	74,99	0,000
x3	1	702	701,8	0,72	0,398
Error	83	80731	972,7		
Total	86	175906			

#### Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
31,1875	54,11%	52,45%	45,81%

## Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	522	163	3,21	0,002	
x1	-0,398	0,238	-1,67	0,098	1,09
x2	-14,69	1,70	-8,66	0,000	1,11
x3	1,27	1,50	0,85	0,398	1,01

## Regression Equation

$$y_3 = 522 - 0,398 x_1 - 14,69 x_2 + 1,27 x_3$$

**Residual Fase Satu**

No	e1	e2	e3
1	0,322442	-3,34391	-23,4232
2	-33,6852	-32,4597	-50,9467
3	-20,17	1,436359	5,777342
4	-22,3975	-31,3863	-58,5381
5	23,38974	5,265392	5,047216
6	-12,5148	11,62959	-23,8469
7	-4,15244	-6,98167	19,89593
8	-3,08314	-4,0332	-36,1213
9	-9,86972	19,38026	10,42083
10	-0,02297	28,17228	-21,539
11	16,34513	18,00725	16,21008
12	-46,1618	-13,1018	7,528879
13	34,43938	10,00526	5,491942
14	2,511729	8,12428	-9,48351
15	22,06746	8,957089	5,588545
16	-0,2225	-22,9743	-22,5652
17	-12,167	-40,6971	7,190503
18	-26,9021	-21,96	-5,95973

No	e1	e2	e3
19	2,841908	10,97637	-1,87732
20	-0,23781	14,32085	-7,88401
21	-8,75575	-7,67625	3,664791
22	-31,4192	-60,6004	-49,212
23	-28,4318	-39,5967	-41,7709
24	-15,805	-29,8998	-59,6532
25	-23,3945	-43,4599	-50,9201
26	-9,67531	-3,42765	-3,47211
27	-17,411	-3,20207	0,09799
28	1,143792	-3,29356	-13,8934
29	-29,7878	-26,0391	-55,3624
30	-38,2007	-43,8443	-36,6868
31	-3,98003	5,110561	-9,4691
32	34,2862	22,20506	-5,37189
33	12,13112	16,74046	-1,51727
34	-4,54548	-20,31	-40,0349
35	30,21573	9,867561	-14,8896
36	6,438313	6,940915	-7,36084
37	19,21238	0,883331	7,436859
38	-0,65261	6,613886	-30,3122
39	24,38769	33,1211	34,04583
40	12,88749	20,5015	23,99642
41	12,6155	14,91777	14,8584
42	-33,0547	-30,0998	-55,9066
43	3,909868	7,378001	-16,5473
44	23,52449	0,594275	25,92361
45	-10,1032	-18,9066	-14,6606

No	e1	e2	e3
46	25,35459	20,5531	28,1619
47	9,567837	31,14487	56,96468
48	3,187559	24,47325	7,204567
49	-46,3048	-21,0022	13,57537
50	-13,1491	-23,9717	6,005523
51	-2,8616	-31,1509	-14,948
52	-24,9929	-10,7944	-36,3462
53	-5,58551	-28,5568	48,52213
54	-29,8092	2,570848	-9,77293
55	2,094813	-6,71546	-16,5345
56	-1,12305	-14,9388	10,57169
57	22,01219	38,9689	30,63466
58	-13,5073	-27,2732	-3,71951
59	-18,5651	-29,4137	23,53726
60	-17,2437	-34,0851	31,97376
61	-38,4612	-25,8128	4,153158
62	-24,098	7,739736	26,67305
63	8,634863	22,67131	57,40514
64	40,46799	13,33768	64,11514
65	27,90998	23,1539	14,59284
66	20,14924	-0,51379	61,15685
67	-0,28869	-18,3618	24,28174
68	10,72557	31,27723	32,38862
69	-61,6268	8,322977	9,946703
70	15,56386	-1,42553	16,72535
71	29,40021	44,27445	20,20276
72	16,13862	35,79551	38,88057
73	12,39096	-11,1439	-2,89066



No	e1	e2	e3
74	22,68562	21,65776	11,37519
75	3,388197	28,3311	36,52806
76	10,28263	25,79881	19,5467
77	16,01873	2,500316	-5,66758
78	1,287734	22,69281	18,74934
79	18,84384	-0,17308	-6,88645
80	12,63569	41,44732	35,07871
81	-4,48862	10,25989	-3,93672
82	55,13038	42,21548	86,36025
83	31,20413	2,776915	-44,0457
84	30,98931	4,243784	-33,8187
85	53,43647	41,20782	0,569486
86	-12,5473	-45,1668	-66,5577
87	-20,7144	9,228865	-14,7053

### Residual dengan Transformasi Log

No	e1	e2	e3
1	-0,49155	0	0
2	0	0	0
3	0	0,157263	0,761728
4	0	0	0
5	1,369025	0,721431	0,703052
6	0	1,065564	0
7	0	0	1,298764
8	0	0	0
9	0	1,28736	1,017902
10	0	1,449822	0
11	1,213388	1,255447	1,209785

No	e1	e2	e3
12	0	0	0,87673
13	1,537055	1,000228	0,739726
14	0,399973	0,909785	0
15	1,343752	0,952167	0,747299
16	0	0	0
17	0	0	0,856759
18	0	0	0
19	0,45361	1,040459	0
20	0	1,155969	0
21	0	0	0,564049
22	0	0	0
23	0	0	0
24	0	0	0
25	0	0	0
26	0	0	0
27	0	0	-1,00882
28	0,058347	0	0
29	0	0	0
30	0	0	0
31	0	0,708469	0
32	1,535119	1,346452	0
33	1,083901	1,223767	0
34	0	0	0
35	1,480233	0,99421	0
36	0,808772	0,841417	0
37	1,283581	-0,05388	0,87139
38	0	0,820457	0
39	1,387171	1,520105	1,532064

No	e1	e2	e3
40	1,110168	1,311786	1,380146
41	1,100904	1,173704	1,171972
42	0	0	0
43	0,592162	0,867939	0
44	1,37152	-0,22601	1,413695
45	0	0	0
46	1,404057	1,312877	1,449662
47	0,980814	1,493387	1,755606
48	0,503458	1,388692	0,857608
49	0	0	1,132752
50	0	0	0,778551
51	0	0	0
52	0	0	0
53	0	0	1,68594
54	0	0,410076	0
55	0,321145	0	0
56	0	0	1,024145
57	1,342663	1,590718	1,486213
58	0	0	0
59	0	0	1,371756
60	0	0	1,504794
61	0	0	0,618379
62	0	0,888726	1,426073
63	0,936255	1,355477	1,758951
64	1,607112	1,12508	1,806961
65	1,445759	1,364624	1,16414
66	1,304259	0	1,786445
67	0	0	1,38528

No	e1	e2	e3
68	1,03042	1,495228	1,510392
69	0	0,920279	0,997679
70	1,192117	0	1,223375
71	1,46835	1,646153	1,305411
72	1,207866	1,553829	1,589733
73	1,093105	0	0
74	1,355751	1,335614	1,055959
75	0,529969	1,452263	1,562627
76	1,012104	1,4116	1,291073
77	1,204628	0,397995	0
78	0,109826	1,355888	1,272986
79	1,275169	0	0
80	1,101599	1,617496	1,545044
81	0	1,011143	0
82	1,741391	1,625472	1,936314
83	1,494212	0,443563	0
84	1,491212	0,627753	0
85	1,727838	1,61498	-0,24452
86	0	0	0
87	0	0,965148	0

### Lampiran D.2 Output SPSS Uji Box's M Residual pada Fase Satu

Test Results		
F	Box's M	3,199
	Approx.	,513
	df1	6
	df2	50464,935
	Sig.	,799

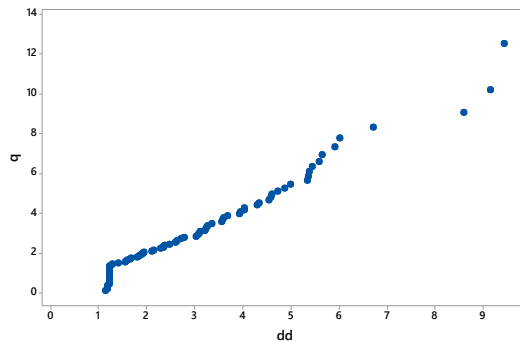
Tests null hypothesis of equal  
population covariance matrices.

### Lampiran D.3 Output Uji Normal Multivariat Residual pada Fase Satu

```
MTB > %E:\multinorm.txt c10 c11 c12
Executing from file: E:\multi.txt
```

#### Data Display

```
t      0,471264
distribusi data bukan multinormal
```



#### Lampiran D.4 Syntax dan output SAS plot MACF Residual pada Fase Satu

```

data ta;
input e1 e2 e3;
datalines;
-0.491548051 0 0
0 0 0
0 0.157263149 0.761728096
.
.
.
1.727841.61498-0.24452
0 0 0
0 0,965150 0
;
proc statespace data=ta;
var e1 e2 e3;
run;

```

#### OUTPUT SYNTAX SAS

The SAS System  
27, 2016 2

11:27 Monday, December

The STATESPACE Procedure  
Information Criterion for Autoregressive Models

Lag=0	Lag=1	Lag=2	Lag=3	Lag=4	
Lag=5	Lag=6	Lag=7	Lag=8	Lag=9	
Lag=10					
-270.94	-268.965	-275.514	-266.141	-264.255	-
260.727	-248.335	-237.463	-229.823	-223.605	-
222.73					

Schematic Representation of Correlations

Name/Lag	0	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10				
e1	+++	++.	+++	...	..+	...	...
...	..+	...	...				
e2	+++	+..	..+	...	...	...	...
...	...	...	...				
e3	+++	..+	..+	..+	..+	...	..+
..+	..+	...	...				

+ is > 2\*std error, - is < -2\*std error, . is between

#### Schematic Representation of Partial Autocorrelations

Name/Lag	1	2	3	4	5	6	7
8	9	10					
e1	...	...	...	...	...	...	...
...	...	..-					
e2	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...					
e3	...	..+	...	..+	...	...	...
...	...	...					

+ is > 2\*std error, - is < -2\*std error, . is between

#### Yule-Walker Estimates for Minimum AIC

-----Lag=1-----			-----Lag=2-----		
e1	e2	e3	e1	e2	e3
e1	0.08539	0.211101	-0.06238	0.136574	
0.035217	0.207493				
e2	0.199287	0.095644	-0.01582	0.098159	-
0.21854	0.217837				
e3	-0.11646	0.119425	0.144774	0.061714	-
0.03719	0.378198				

## Lampiran D.5 Output Model Regresi dan Residual pada Fase Dua

### Variabel y1

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	6730,5	2243,5	4,61	0,006

x1	1	181,7	181,7	0,37	0,544
x2	1	4133,5	4133,5	8,49	0,005
x3	1	2647,9	2647,9	5,44	0,023
Error	62	30185,0	486,9		
Total	65	36915,5			

## Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
22,0648	18,23%	14,28%	7,07%

## Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	50,1	86,3	0,58	0,564	
x1	0,102	0,167	0,61	0,544	1,07
x2	-4,98	1,71	-2,91	0,005	1,02
x3	2,026	0,869	2,33	0,023	1,08

## Regression Equation

$$y1 = 50,1 + 0,102 \ x1 - 4,98 \ x2 + 2,026 \ x3$$

**Variabel y2**

## Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	5201,0	1733,67	3,07	0,034
x1	1	84,3	84,32	0,15	0,701
x2	1	3534,4	3534,40	6,26	0,015
x3	1	1848,2	1848,23	3,27	0,075
Error	62	35013,6	564,74		
Total	65	40214,6			

## Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
23,7642	12,93%	8,72%	1,74%



## Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	134,8	93,0	1,45	0,152	
x1	0,069	0,180	0,39	0,701	1,07
x2	-4,61	1,84	-2,50	0,015	1,02
x3	1,693	0,936	1,81	0,075	1,08

## Regression Equation

$$y2 = 134,8 + 0,069 \text{ x1} - 4,61 \text{ x2} + 1,693 \text{ x3}$$

**Variabel y3**

## Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	11785,6	3928,5	6,50	0,001
x1	1	47,5	47,5	0,08	0,780
x2	1	1304,1	1304,1	2,16	0,147
x3	1	10878,6	10878,6	18,01	0,000
Error	62	37444,8	603,9		
Total	65	49230,3			

## Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
24,5753	23,94%	20,26%	13,26%

## Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	10,1	96,1	0,11	0,916	
x1	-0,052	0,186	-0,28	0,780	1,07
x2	-2,80	1,90	-1,47	0,147	1,02
x3	4,107	0,968	4,24	0,000	1,08

Regression Equation

$$y_3 = 10,1 - 0,052 x_1 - 2,80 x_2 + 4,107 x_3$$

### Residual Fase Dua

No	e1	e2	e3
1	10,74427	-5,07953	-35,3496
2	13,83381	-14,2153	15,43917
3	-5,60539	7,630475	34,1901
4	53,06445	76,0771	49,84063
5	29,06358	16,38246	11,84941
6	19,40094	25,0095	-6,26833
7	-0,01588	6,021418	11,18194
8	15,49445	1,582681	0,941501
9	19,35984	27,3283	10,72707
10	61,25792	52,37139	40,70735
11	53,03479	71,17264	53,89316
12	-7,56416	-3,26804	-6,83559
13	-5,87765	-1,00841	-4,04908
14	-11,3919	0,505343	-12,0708
15	-15,9723	-13,8923	-9,08537

No	e1	e2	e3
16	-9,22188	-20,782	-20,197
17	-12,8597	-18,8926	-2,98654
18	-9,30437	-19,8265	-7,93237
19	-20,9254	1,857538	-22,0522
20	-48,4652	-37,7345	-39,3142
21	14,2088	13,91323	2,48412

22	15,40821	24,04165	36,0427
23	-4,67818	-15,6559	-28,5174
24	-6,73596	-1,46249	-27,434
25	8,534777	12,34355	-3,52906
26	-19,646	-29,8202	-48,6195
27	-18,1843	-16,7843	-22,3656
28	16,59969	1,37878	5,051064
29	-5,05622	13,68353	-2,23831
30	9,162648	15,57699	35,92752
31	-1,49994	-13,4315	-21,397
32	14,94889	1,207167	-11,4439
33	2,811038	4,394188	-3,58209
34	-5,82634	-14,2994	-21,6795
35	2,781562	18,05823	-16,9919
36	4,645289	-4,03956	-16,8689
37	14,0789	15,48235	13,68003
38	10,60332	8,005412	-32,1355
39	-5,40395	-31,0902	-24,5112
40	13,31971	13,84463	16,02847
41	8,385702	16,34807	10,34472
42	-6,82636	-25,1097	-28,9044
43	24,17977	13,47585	16,20753
No	e1	e2	e3
44	24,70156	23,75825	7,63762
45	-24,4349	-23,8567	-31,0411
46	-1,83978	-4,80299	6,355898
47	-24,435	-23,434	-15,3975
48	-48,5568	-26,5211	-16,0332
49	-59,4813	-61,7961	-41,827
50	-14,6333	-23,4966	0,329399

51	-34,0297	-14,0203	9,279591
52	-15,8372	-9,94101	-16,4853
53	-8,59767	17,39246	22,44185
54	9,037899	-7,31268	27,14576
55	1,803111	-8,35032	29,44883
56	-16,4019	-18,5465	1,857545
57	17,95404	16,21568	41,84762
58	18,09285	4,233898	17,00554
59	-16,0131	-9,98608	-5,58369
60	-2,67906	1,921939	-11,4095
61	4,486418	16,16444	29,73146
62	-0,79003	2,663009	24,20748
63	-22,7836	-36,7179	-32,3584
64	-19,602	-12,6146	1,564381
65	5,77464	23,47438	35,69795
66	14,40354	4,272992	27,40755

### Residual dengan Transformasi Log

No	e1	e2	e3
1	1,031177	0	0
2	1,140942	0	1,188624
3	0	0,882552	1,5339
4	1,724804	1,881254	1,697584

5	1,463349	1,214379	1,073697
6	1,287823	1,398105	0
7	0	0,779699	1,048517
8	1,190176	0,199393	-0,02618
9	1,286902	1,436613	1,030481
10	1,787162	1,719094	1,609673
11	1,724561	1,852313	1,731534
12	0	0	0
13	0	0	0
14	0	-0,29641	0
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0
18	0	0	0
19	0	0,268938	0
20	0	0	0
21	1,152557	1,143428	0,395173
22	1,187752	1,380964	1,556817
23	0	0	0
24	0	0	0
25	0,931192	1,09144	0

No	e1	e2	e3
26	0	0	0
27	0	0	0
28	1,2201	0,139495	0,703383
29	0	1,136198	0
30	0,962021	1,192483	1,555427
31	0	0	0

32	1,174609	0,081767	0
33	0,448867	0,642879	0
34	0	0	0
35	0,444289	1,256675	0
36	0,667013	0	0
37	1,148569	1,189837	1,136087
38	1,025442	0,903384	0
No	e1	e2	e3
39	0	0	0
40	1,124495	1,141281	1,204892
41	0,923539	1,213467	1,014719
42	0	0	0
43	1,383452	1,129556	1,209717
44	1,392724	1,375814	0,882958
45	0	0	0
46	0	0	0,803177
47	0	0	0
48	0	0	0
49	0	0	0
50	0	0	-0,48228
51	0	0	0,967529

No	e1	e2	e3
52	0	0	0
53	0	1,240361	1,351059
54	0,956068	0	1,433702
55	0,256023	0	1,469068
56	0	0	0,268939
57	1,254162	1,209935	1,621671

58	1,257507	0,62674	1,23059
59	0	0	0
60	0	0,28374	0
61	0,6519	1,208561	1,473216
62	0	0,425373	1,38395
63	0	0	0
64	0	0	0,194343
65	0,761525	1,370594	1,552643
66	1,158469	0,630732	1,43787

**Lampiran D.6** *Output* SPSS Uji Box's M Residual pada Fase Dua

Test Results		
F	Box's M	9,358
	Approx.	1,479
	df1	6
	df2	27087,416
	Sig.	,181

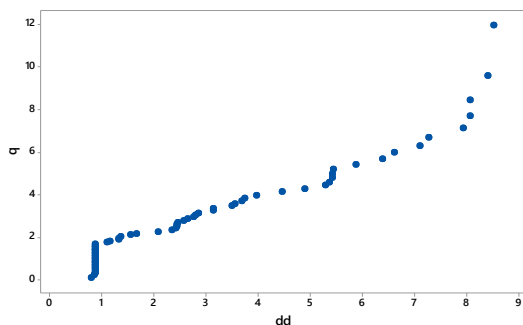
Tests null hypothesis of equal  
population covariance matrices.

**Lampiran D.7** *Output* Uji Normal Multivariat Residual pada Fase Dua

```
MTB > %E:\multinorm.txt c14 c15 c16
Executing from file: E:\multi.txt
```

**Data Display**

```
t      0,484848
distribusi data bukan multinormal
```



**Lampiran D.8** *Syntax dan output SAS plot MACF Residual pada Fase Dua*

```
data ta;
input e1 e2 e3;
datalines;
1.03118      0      0
1.14094      0      1.18862
0      0.88255      1.5339
.
.
0      0      0.19434
0.76152      1.37059      1.55264
1.15847      0.63073      1.43787
;
proc statespace data=ta;
var e1 e2 e3;
run;
```

### OUTPUT

The SAS System 11.27 Monday, December 27, 2016 2

The STATESPACE Procedure  
Information Criterion for Autoregressive Models

Lag=0	Lag=1	Lag=2	Lag=3	Lag=4
Lag=5	Lag=6	Lag=7	Lag=8	Lag=9
Lag=10				



-270.94	-268.965	-275.514	-266.141	-264.255	-
260.727	-248.335	-237.463	-229.823	-223.605	-
222.73					

#### Schematic Representation of Correlations

Name/Lag	0	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10				
e1		+++	++.	+++	...	..+	...
...	..+	...	...				
e2		+++	++.	..+	...	...	...
...	...	...	...				
e3		+++	..+	..+	..+	...	..+
..+	..+	...	...				

+ is  $> 2 \times \text{std error}$ , - is  $< -2 \times \text{std error}$ , . is between

#### Schematic Representation of Partial Autocorrelations

Name/Lag	1	2	3	4	5	6	7
8	9	10					
e1		...	...	...	...	...	...
...	...	..-					
e2		...	...	...	...	...	...
...	...	...					
e3		...	..+	...	..+	...	...
...	...	...					

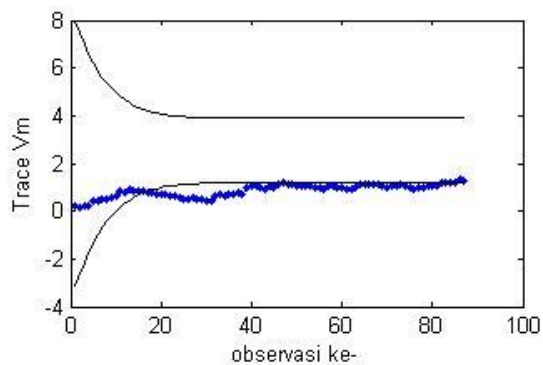
+ is  $> 2 \times \text{std error}$ , - is  $< -2 \times \text{std error}$ , . is between

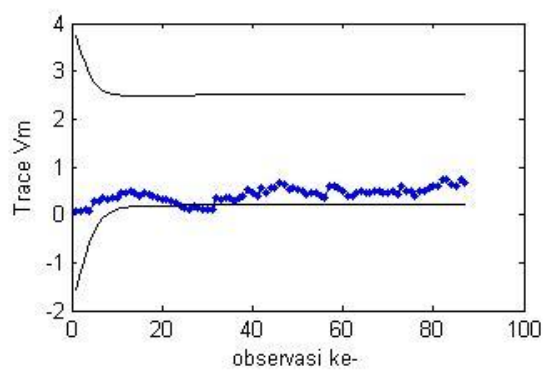
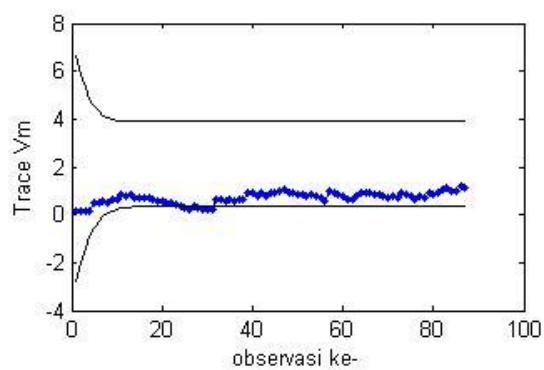
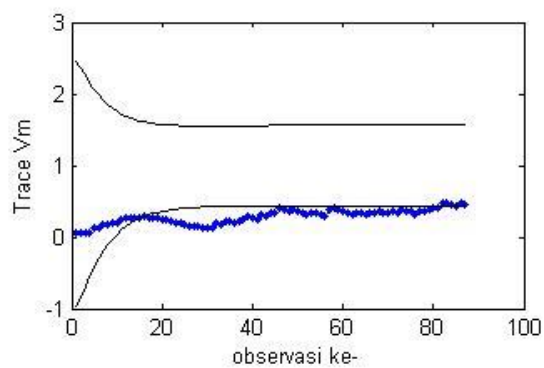
#### Yule-Walker Estimates for Minimum AIC

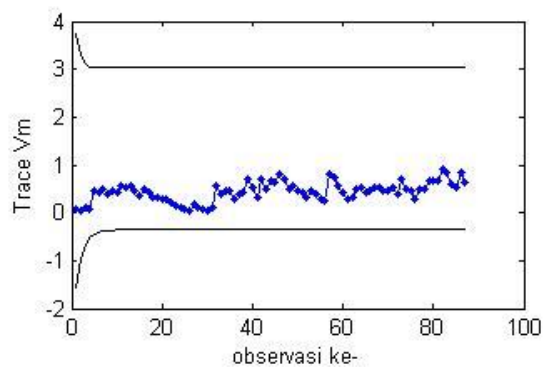
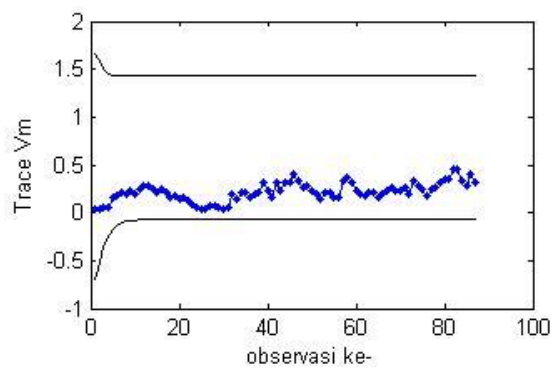
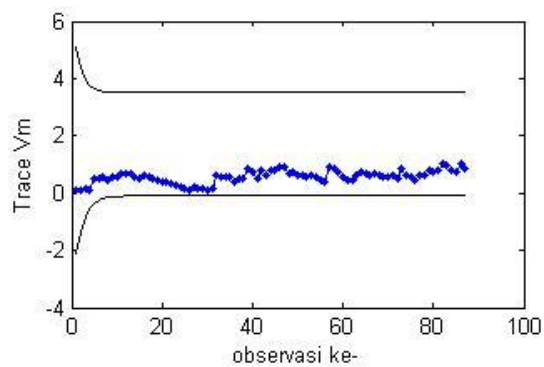
-----Lag=1-----			-----Lag=2-----		
e1	e2	e3	e1	e2	e3
		e1	0.08539	0.211101	-
0.06238	0.136574	0.035217	0.207493		
		e2	0.199287	0.095644	-
0.01582	0.098159	-0.21854	0.217837		
		e3	-0.11646	0.119425	
0.144774	0.061714	-0.03719	0.378198		

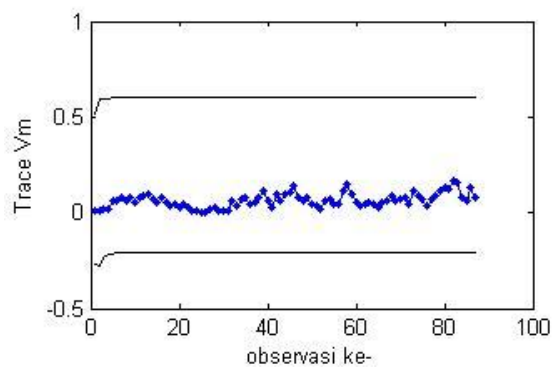
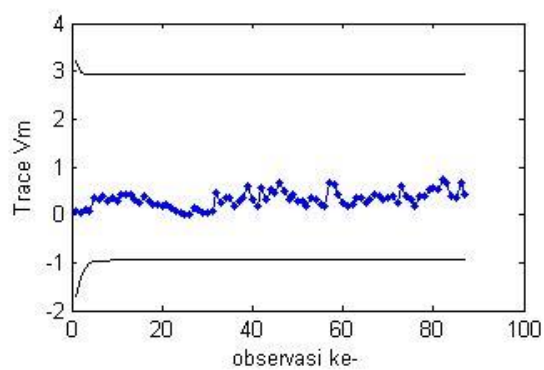
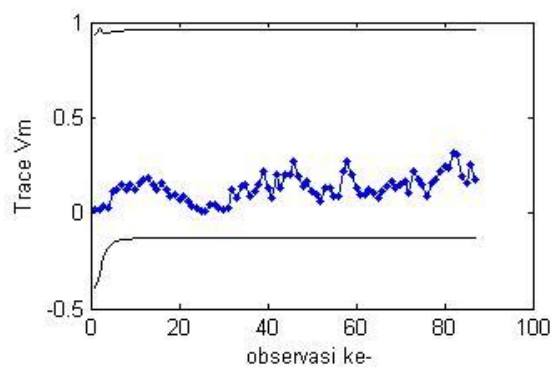
### Lampiran E Pengendalian Variabilitas Proses dan Rata-Rata Proses Fase Satu

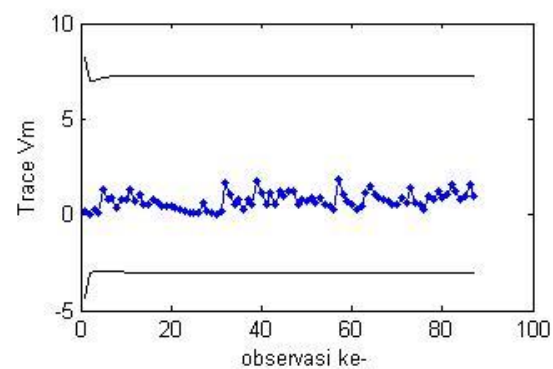
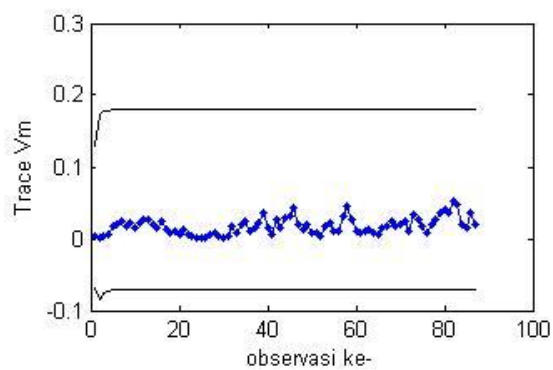
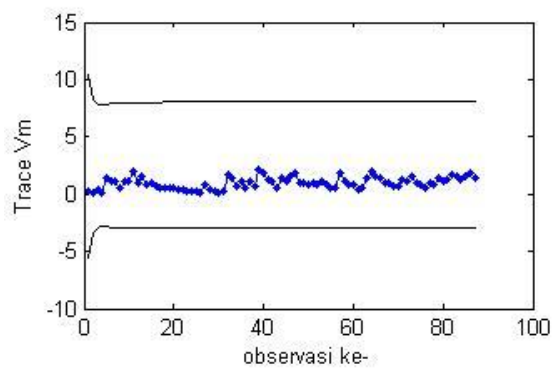
**Lampiran E.1** Diagram kontrol MEWMV dengan nilai pembobot yang ditetapkan

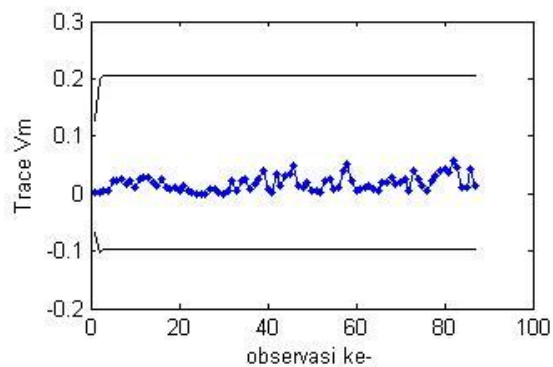
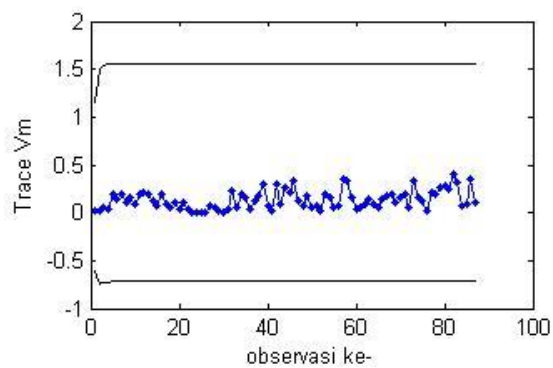
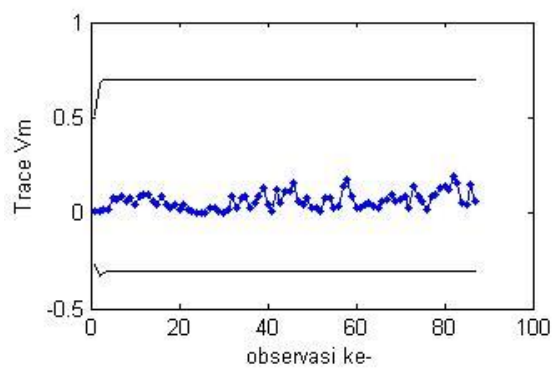


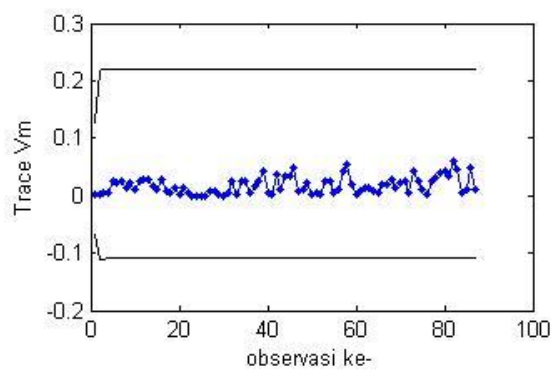
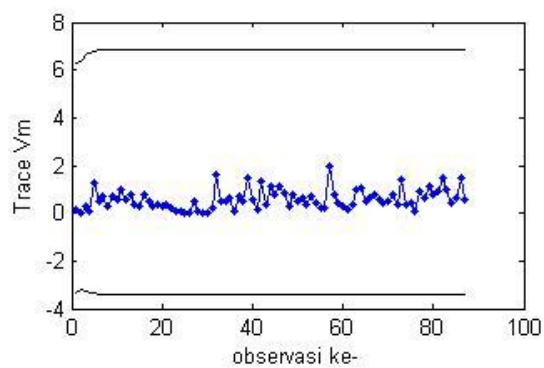










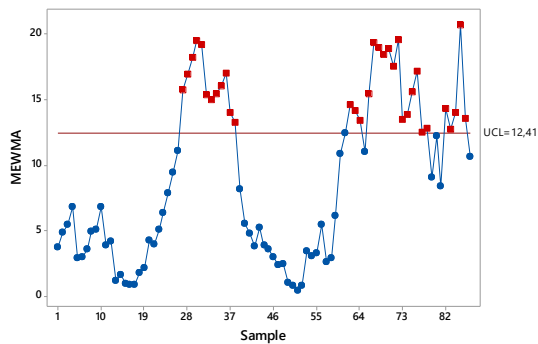


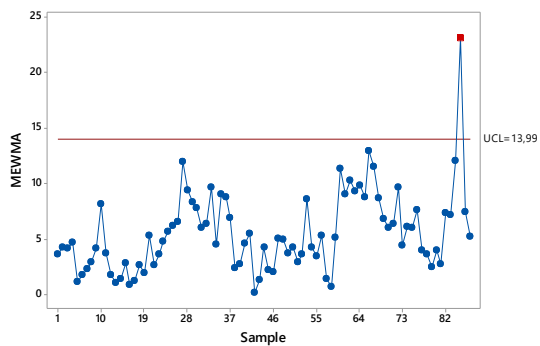
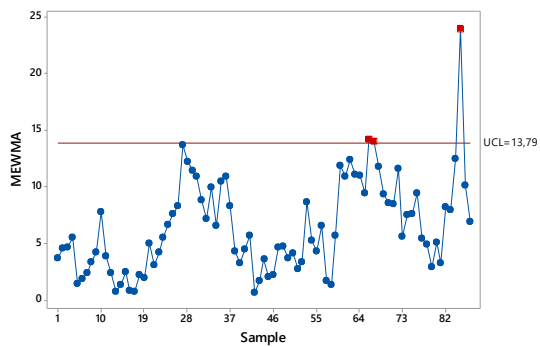
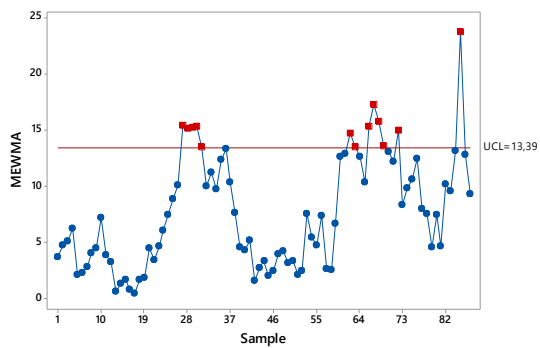


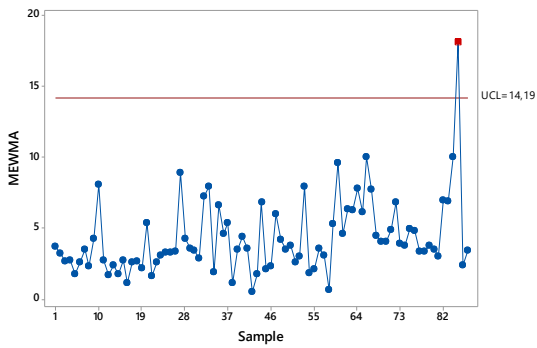
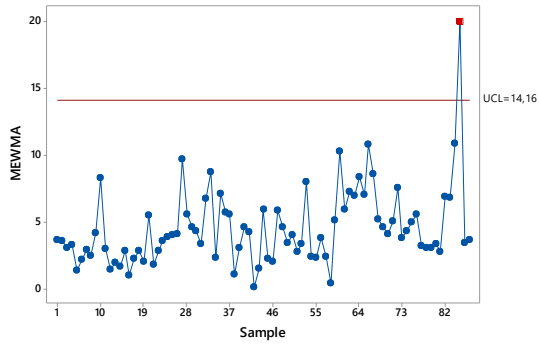
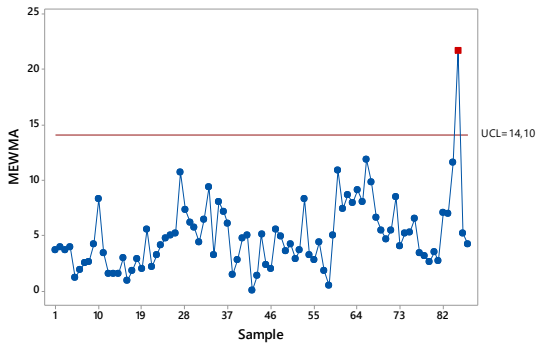
## Lampiran E.2 Nilai Tabel L untuk $p=3$

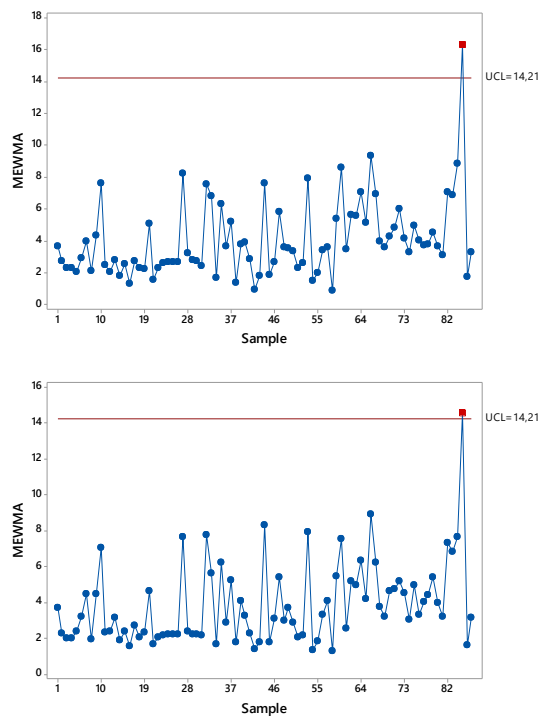
$\omega$	$\lambda$	$L$	$\omega$	$\lambda$	$L$	$\omega$	$\lambda$	$L$
0.1	0.1	2.7900	0.4	0.1	3.8984	0.7	0.1	4.3777
	0.2	2.7939		0.2	3.9063		0.2	4.3797
	0.3	2.7949		0.3	3.9121		0.3	4.3816
	0.4	2.7988		0.4	3.9219		0.4	4.3836
	0.5	2.7979		0.5	3.9277		0.5	4.3855
	0.6	2.8027		0.6	3.9395		0.6	4.3875
	0.7	2.8066		0.7	3.9492		0.7	4.3836
	0.8	2.8105		0.8	3.9511		0.8	4.3836
	0.9	2.8164		0.9	3.9492		0.9	4.3758
0.2	0.1	3.3105	0.5	0.1	4.1016	0.8	0.1	4.4707
	0.2	3.3086		0.2	4.1016		0.2	4.4668
	0.3	3.3164		0.3	4.1094		0.3	4.4629
	0.4	3.3213		0.4	4.1152		0.4	4.4688
	0.5	3.3340		0.5	4.1191		0.5	4.4688
	0.6	3.3438		0.6	4.1270		0.6	4.4688
	0.7	3.3535		0.7	4.1367		0.7	4.4629
	0.8	3.3594		0.8	4.1387		0.8	4.4590
	0.9	3.3691		0.9	4.1328		0.9	4.4551
0.3	0.1	3.6484	0.6	0.1	4.2578	0.9	0.1	4.5234
	0.2	3.6523		0.2	4.2578		0.2	4.5195
	0.3	3.6602		0.3	4.2617		0.3	4.5117
	0.4	3.6699		0.4	4.2695		0.4	4.5195
	0.5	3.6797		0.5	4.2715		0.5	4.5176
	0.6	3.6895		0.6	4.2715		0.6	4.5137
	0.7	3.6943		0.7	4.2734		0.7	4.5098
	0.8	3.7011		0.8	4.2813		0.8	4.5078
	0.9	3.7070		0.9	4.2715		0.9	4.4984

## Lampiran E.3 Diagram MEWMA dengan semua nilai pembobot



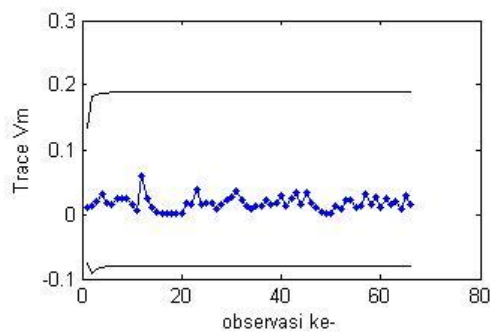




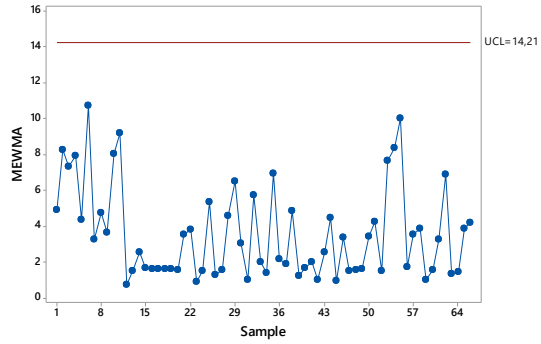


**Lampiran F** Pengendalian Variabilitas Proses dan Rata- Rata  
Proses Fase Dua

**Lampiran F.1** Diagram MEWMV dengan pembobot optimal  
dari Fase Satu



**Lampiran F.2** Diagram MEWMA dengan pembobot optimal dari Fase Satu



## Lampiran G Surat Keterangan Penelitian di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk



PT Semen Indonesia (Persero) Tbk.

R/74203200/002-3

Nomor : 11340/PP-01/742032/11.2016

Lamp. : -

Perihal : Panggilan Penelitian

Kepada Yth.  
Ketua Jurusan Statistika  
u.p. Dr. Brodjol Sutjjo S Ulama, M.Si  
Kampus ITS Sukolilo - Surabaya 60111

Menunjuk Surat Saudara No : 062804/IT2.1.1.3/TU.00.09/2016 tanggal 10 Oktober 2016,  
Perihal : Permohonan Ijin Penelitian, dengan ini kami beritahukan bahwa kami  
dapat menerima mahasiswa/siswa Saudara :

No.	NAMA	NIM	JURUSAN
1.	Anindya Cipta Putri	1313100041	Statistika

Untuk melakukan Penelitian di PT Semen Indonesia (Persero) Tbk,  
di Section of Quality Assurance Pabrik Tuban dengan ketentuan sbb :

1. Setiap mahasiswa/siswa yang melakukan Penelitian harus diikutsertakan dalam Asuransi Kecelakaan oleh Institusi ybs.
2. Penelitian dilaksanakan mulai tanggal 14 Nopember 2016 s.d. 25 Nopember 2016
3. Perusahaan tidak menyediakan sarana akomodasi (penginapan) & transportasi.
4. Mahasiswa/siswa tersebut di atas diharapkan kehadirannya pada :

- Hari/Tanggal : Senin, 14 Nopember 2016
- Pukul : 07.30 WIB sd. Selesai
- Tempat : Gedung Auditorium Lt.2 Kantor Pusat PT Semen Gresik Tuban  
Desa Sumberarum, Kecamatan Kerek, Kabupaten Tuban
- Acara : Pengarahan dari Perusahaan & Penyerahan Perlengk. Administrasi
- Membawa :
  1. Foto Copy Kartu Tanda Pelajar/Mahasiswa (KTP) sebanyak 1 (satu) lembar.
  2. Foto Copy Polis Asuransi Kecelakaan Kerja/Kesehatan sebanyak 1 (satu) lembar.
  3. Pas foto berwarna ukuran 2x3 sebanyak 2 (dua) lembar.

Demikian atas perhatian Saudara kami sampaikan terima kasih.

Tuban, 14 Nopember 2016  
PT Semen Indonesia (Persero)  
An. Direksi,  
Ka. Biro Pusat Pembelajaran

  
AMIN BUDI HARTANTO, ST.